

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки: «Нефтегазовое дело»
 Профиль подготовки: «Технологические машины и оборудования на нефтегазовом промысле»
 Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование и оптимизация конструкции низа бурильной колонны для шароструйного бурения

УДК 622.243.43.053-048.34

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Куренков Александр Павлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вольф Э.Л.	к.т.н.		

Консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горбенко М.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк В.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина М.С.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Манабаяев К.К.	к.т.н.		

Томск – 2019 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки: «Нефтегазовое дело»

Профиль подготовки: «Технологические машины и оборудования на нефтегазовом промысле»

Отделение нефтегазового дела

Форма представления работы:

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
07.10.2017	Постановка цели исследования	2
18.10.2017	Введение	3
06.11.2017	Обзор и анализ литературы	5
18.02.2018	Оптимизация конструкции	10
23.03.2018	Разработка технической документации	7
19.04.2018	Расчёт геометрических и технологических параметров шароструйно-эжекторного бурового снаряда	5
07.10.2018	Разработка компьютерной модели	10
03.11.2018	Расчет компьютерной модели	10
13.02.2019	Анализ результатов исследования с выдачей дальнейших рекомендаций	5
25.03.2019	Раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	7
09.04.2019	Раздел «Социальная ответственность»	7
19.04.2019	Раздел на иностранном языке	7
26.04.2019	Заключение	3
27.04.2019	Реферат	3
14.05.2019	Написание пояснительной записки	6
29.05.2019	Подготовка доклада	5
31.05.2019	Оформление презентации	5
	<i>Итого</i>	100

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вольф Эрнст Леонидович	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Манабаев Кайрат Камитович	к.ф. – м.н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые естественнонаучные, социально- экономические, правовые и специальные знания в области нефтегазового дела, для решения <i>прикладных меж - дисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики) , самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P2	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности</i> .
P3	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.
P4	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .
P5	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов.
P6	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i> .
P7	Эффективно работать индивидуально, в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести ответственность за результаты работы.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности.
P9	Планировать и организовывать работу по проведению планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания технологического оборудования.
P10	Планировать внедрение новой техники и передовых технологий, разрабатывать и реализовывать программы модернизации и технического перевооружения предприятия с целью повышения надежности, долговечности и эффективности работы технологического оборудования.
P11	Организовывать проведение проверок технического состояния и экспертизы промышленной безопасности, проводить оценку эксплуатационной надежности технологического оборудования.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки: «Нефтегазовое дело»
Профиль подготовки: «Технологические машины и оборудование на нефтегазовом
промысле»
Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
_____ Манабаев К.К.
(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ74	Куренкову Александру Павловичу

Тема работы:

Исследование и оптимизация конструкции низа бурильной колонны шароструйно-эжекторного бурового снаряда	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№852/с от 04.02.2019 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p style="text-align: center;">Результаты анализа конструкций узлов шароструйного аппарата и опыта их применения.</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования;</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Аналитический обзор по литературным источникам с целью выявления конечных достижений в исследуемой области; 2. Оптимизация конструкции шароструйно-эжекторного бурового аппарата;

содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	3. Расчёт геометрических и технологических параметров бурения шароструйно-эжекторного бурового снаряда для скважины диаметром 215,9 мм.; 4. Построение компьютерной модели разработанной конструкции; 5. Расчёт компьютерной модели; 6. Финансовый менеджмент; 7. Социальная ответственность; 8. Перевод одной из частей литературного обзора на английский язык; 9. Выводы по работе.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы (с указанием разделов)	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Романюк Вера Борисовна доцент отделения нефтегазового дела, к.э.н.
Социальная ответственность	Черемискина Мария Сергеевна ассистент отделения общетехнических дисциплин.
Иностранный язык	Бекишева Татьяна Геннадьевна старший преподаватель отделения иностранных языков
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Обзор литературы	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	03.11.2018
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вольф Эрнст Леонидович	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Куренков Александр Павлович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 144 с., 48 рис., 17 табл., 61 источников.

Ключевые слова: шароструйное бурение; съемная сопловая насадка; смена рейсовой порции шаров; шароструйно-эжекторный буровой снаряд; компоновка низа бурильной колонны.

Объектом исследования является: компоновка низа бурильной колонны для шароструйно-эжекторного бурового снаряда.

Цель работы: повышение эффективности шароструйного бурения в твердых и крепких горных породах за счет оптимизации конструкции шароструйно-эжекторного бурового снаряда.

В процессе исследования проводились: обзор и анализ существующих конструкций буровых снарядов; расчёт геометрических и технологических параметров бурения шароструйно-эжекторного бурового снаряда для скважины диаметром 215,9 мм.; разработка технологических схем съемной сопловой насадки; построение компьютерной модели с использованием программного комплекса SolidWorks; расчёт компьютерной модели с использованием программного комплекса ANSYS; анализ полученных результатов с выдачей рекомендаций.

В результате исследования: была разработана и спроектирована съемная сопловая насадка, которая позволяет сократить количество спуско-подъемных операций (СПО).

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: расчёт геометрических и технологических параметров шароструйно-эжекторного бурового снаряда.

Степень внедрения: разработана конструкция.

Область применения: бурение скважин на нефть и газ, разведочное бурение, искусственное искривление скважин.

Экономическая эффективность/значимость работы: благодаря разработанной конструкции съемной сопловой насадки, уменьшается количество СПО, что ведет к экономии временных и экономических ресурсов.

В будущем планируется: проведение дополнительных экспериментальных исследований и внедрение конструкции в производственный процесс бурения скважин.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

Нормативные ссылки:

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
2. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;
3. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности;
4. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация;
5. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление;
6. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;
7. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация;
8. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
9. ГОСТ Р МЭК 61140-2000 Защита от поражения электрическим током;
10. ГОСТ 12.2.062-81 Оборудование производственное. Ограждения защитные;
11. ГОСТ 12.0.004 – 90 Техника безопасности;
12. ГОСТ 17.1.3.05 – 82 Охрана природы, гидросфера, общие требования к охране поверхностных и подземных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами;
13. ГОСТ 12.1 0180 – 93 Электростатическая безопасность;
14. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
15. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки;

16. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны;
17. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения;
18. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.

Обозначения и сокращения:

ПРИ – породоразрушающий инструмент;

РГП – разрушение горной породы;

КПД – коэффициент полезного действия;

ШЭБС – шароструйно-эжекторный буровой снаряд;

ЗУ – задерживающее устройство;

СПО – спускоподъемные операции;

ША – шароструйный аппарат;

УПУ – улавливающее-подпитывающее устройство;

ШУ – шароуловитель;

ШП – шаропитатель;

ЗУ – задерживающее устройство;

ПУ – перекрывающее устройство;

БС – бурение скважин;

БТ – бурильная труба.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	17
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР.....	20
1.1. Сущность шароструйно-эжекторного способа разрушения твердых и крепких горных пород.....	20
1.2. Тенденция развития шароструйных аппаратов.....	22
1.3. Оптимизация режимов работы шароструйно-эжекторных аппаратов путем регулирования скорости рабочего потока жидкости.....	37
2.ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ НИЗА БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ ШАРОСТРУЙНО-ЭЖЕКТОРНОГО АППАРАТА.....	41
3. РАСЧЁТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРЕНИЯ ШАРОСТРУЙНО-ЭЖЕКТОРНОГО АППАРАТА ДЛЯ СКВАЖИН ДИАМЕТРОМ 215,9 ММ.....	46
3.1. Расчёт геометрических параметров бурения.....	46
3.2. Расчёт технологических параметров бурения.....	50
4. ПОСТРОЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ РАЗРАБОТАННОЙ КОНСТРУКЦИИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SOLIDWORKS	55
4.1. Описание процесса построения модели.....	57
4.2. Сборка компьютерной модели.....	67
5. РАСЧЁТ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS	69
5.1. Выбор свойств материала.....	72
5.2. Основные допущения.....	74
5.3. Задание типов конечных элементов.....	75
5.4. Задание граничных условия.....	78
5.5. Тип решения.....	80
5.6. Анализ результатов.....	81

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	86
6.1. SWOT - анализ.....	86
6.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	87
6.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	93
6.4. Формирование организационной структуры управления инженерным проектом.....	95
6.5. Составление бюджета разработки и внедрения инженерных решений.....	96
6.6. Проведение анализа безубыточности инженерного проекта.....	97
6.7. Оценка эффективности инженерных решений.....	100
6.8. Анализ потенциальных рисков и разработка мер по управлению ими.....	101
7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	103
7.1. Производственная безопасность.....	103
7.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению.....	108
7.3. Экологическая безопасность.....	109
7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	112
7.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	117
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	118
Приложение А.....	124

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

Наблюдая за мировой практикой бурения скважин, следует отметить возрастание объемов бурения геологоразведочных, сейсмических, водозаборных и других скважин в крепких горных породах. При бурении крепких горных пород механическим способом, наблюдается низкая механическая скорость и проходка на долото. Несмотря на постоянные совершенствования породоразрушающего инструмента (ПРИ), бурение данным способом остается недостаточно эффективным. Повысить эффективность бурения твердых горных пород можно путем разработки новых материалов и новых конструктивных решений для ПРИ. Поэтому актуальность приобретает разработка альтернативных способов разрушения твердых горных пород [1-4]. Следует отметить, что одним из наиболее перспективных является гидродинамический способ разрушения крепких горных пород, который осуществляется с помощью высокоскоростной струи жидкости. Данным способом на забой скважины можно передавать значительные мощности, при этом скорость бурения и проходка на долото возрастают в кратное число раз [7]. Кроме того, этот способ легко вписывается в существующую технологию бурения механическими способами, при которой для очистки скважины от шлама на забой подается промывочная жидкость. Однако гидродинамический способ в неизменном виде малоэффективен для бурения скважин в крепких горных породах [9].

Шароструйный способ бурения скважин, заключается в разрушении горных пород высокоскоростными ударами, взвешенных шаров, непрерывно циркулирующих в призабойной зоне, позволяет решить ряд технических и технологических проблем, возникающих при разрушении крепких горных пород [57]. Данный способ бурения характеризуется рядом существенных преимуществ: отсутствием необходимости в создании осевых нагрузок на долото и его вращении, значительная проходка на долото, высокая механическая скорость бурения [57].

На кафедре бурения скважин Томского политехнического университета А.В. Ковалевым была разработана оптимальная конструкция шароструйно-эжекторного бурового снаряда (ШЭБС), исследованы основные технические и технологические параметры, предложена оригинальная методика расчёта процессов шароструйного бурения, что является хорошим фундаментом для дальнейших исследований [34].

Исследованием шароструйного способа бурения занимались А.В. Васильев, А.Н. Давиденко, Л.С. Дербенев, О.Л. Дербенева, А.В. Дугарцыренов, С.А. Заурбеков, Т.Н. Зубкова, А.А. Игнатов, В.П. Коротков, М.М. Майлибаев, М.Н. Нурлыбаев, Н.Т. Туякбаев, А.Б. Уваков, А.В. Штрассер, J.M. Camp, F.W. Cole, F.H. Deily, I.E. Eckel, A.B. Hildebrandt, L.W. Ledgerwood, A.W. McCray, E.M. McNatt, J.E. Ortloff, G.H. Ramsey, M. Roth, Williams и др [33].

В настоящее время, шароструйный способ разрушения горных пород не получил широкого внедрения из-за недостаточного уровня его теоретической и экспериментальной проработки [35].

Разработанные ранее методики расчёта оптимальных геометрических параметров шароструйно-эжекторных буровых снарядов и рациональных технологических параметров режима бурения являются разрозненными и часто противоречивыми [34]. Также следует отметить высокую трудоемкость, низкую надежность и значительные потери времени на спуско-подъемные операции при проведении полевых работ шароструйным методом [57].

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что разработка технических средств, оптимизация и проработка конструкции низа бурильной колонны является на сегодняшний день актуальной и требующей решения задачей.

Цель работы

Основной целью работы является расширение и углубление знаний в области шароструйного бурения за счет разработки новой конструкции, которая позволит производить замену отработанной, рейсовой порции породоразрушающих шаров без подъема всей бурильной колонны.

Предметом данного исследования является низ бурильной колонны шароструйно-эжекторного бурового снаряда.

Задачи исследования

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обзор и анализ ранее полученных результатов исследования шароструйного способа бурения скважин;
- обоснование принципиальной конструкции шароструйного бурового снаряда, который обеспечивает высокую эффективность бурения в крепких горных породах;
- расчёт геометрических и технологических параметров бурения шароструйно-эжекторного бурового снаряда для скважины диаметром 215,9 мм.;
- разработка технологических схем для повышения эффективности шароструйного бурения;
- построение компьютерной модели с использованием программного комплекса SolidWorks ;
- расчёт компьютерной модели с использованием программного комплекса ANSYS;
- анализ полученных результатов, с выдачей рекомендаций.

Личный вклад автора состоит в оптимизации конструкции низа бурильной колонны шароструйно-эжекторного снаряда; расчёте геометрических и технологических параметров бурения; в разработке технической документации; в построение компьютерной модели и её дальнейшем расчёте с использованием программных комплексов.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Сущность шароструйно-эжекторного способа разрушения твердых и крепких горных пород

При шароструйном способе бурения для разрушения твердых и крепких горных пород используется энергия большого количества твердосплавных шаров взвешенных в потоке жидкости и многократно соударяющихся с забоем скважины с большой скоростью. Поток жидкости со взвешенными шарами приводится в движение с помощью шароструйно-эжекторного аппарата.

Принципиальная схема конструкции шароструйно-эжекторного аппарата представлена на рисунке 1.

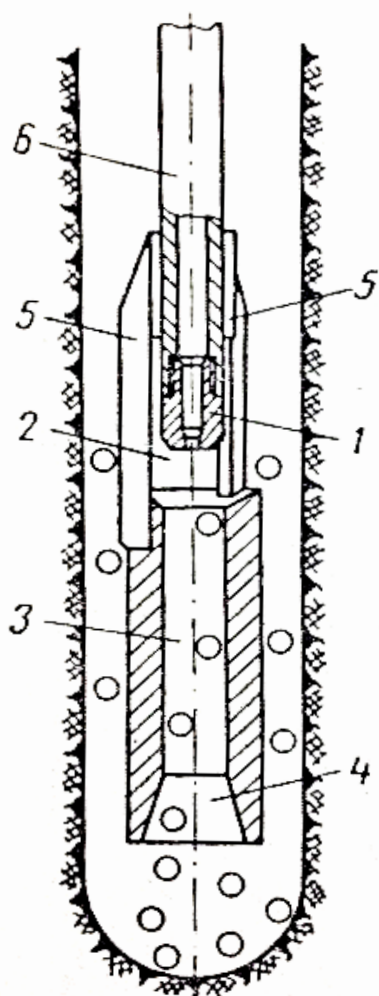


Рисунок 1 – Принципиальная схема конструкции шароструйно-эжекторного аппарата.

Основные элементы аппарата: 1 – рабочее сопло; 2 – камера разрежения; 3 – камера смешения; 4 – диффузор; 5 – удерживающие ребра; 6 – патрубок.

Для бурения с помощью устройства, изображенного на рисунке 1 необходимо на забой скважины засыпать рейсовую порцию стальных породоразрушающих шаров. Включить буровой насос и по бурильным трубам подать расчётное количество промывочной (рабочей) жидкости.

При прокачивании через бурильные трубы промывочная жидкость, выходя из *рабочего сопла 1* с большей скоростью, создает разрежение, вследствие чего происходит дополнительное всасывание (инжекция) промывочной жидкости из затрубного пространства в *камеру смешения 3*.

Жидкость, прокачиваемая через сопло, называется рабочей жидкостью, а подсасываемая – инжектируемой [57]. Оба потока этих жидкостей смешиваются в *камере смешения 3* [57]. В зависимости от коэффициента инжекции расход жидкости в *камере смешения 3* может быть в несколько раз больше, чем в *рабочем сопле 1* [58]. Потоки рабочей и инжектируемой сред поступают в *камеру смешения 3*, где происходит выравнивание профиля скоростей, сопровождающееся повышением давления [58]. Из *камеры смешения 3* поток поступает в *диффузор 4*, где происходит дальнейший рост давления [57]. Давление смешанного потока на выходе из *диффузора 4* выше давления инжектируемого потока, поступающего в *приемную камеру 2* [57]. Повышение давления инжектируемого потока без непосредственной затраты механической энергии является основным качеством струйных аппаратов [58].

Поток смешанной жидкости, выходя из *диффузора 4*, поднимается с большой скоростью по кольцевому зазору между аппаратом и стенками скважины увлекая находящиеся на забое породоразрушающие шары [58]. Шары поднимаются до уровня *рабочего сопла 1* и не много выше, где останавливаются из-за резкого падения скорости восходящей струи жидкости вследствие увеличения кольцевого сечения и уменьшения количества жидкости за счет частичной рециркуляции [57]. Далее породоразрушающие шары совместно с потоком инжектируемой жидкости попадают в *камеру смешения 3*, где разгоняются до определенной скорости [57]. Выходя из *диффузора 4* с большей скоростью, шары ударяются о забой разрушая горную породу, увлекаясь восходящим потоком жидкости поднимаются вверх [57].

Продукты разрушения горной породы частично рециркулируют с потоком инжектируемой жидкости, измельчаясь при этом и легко выносятся из скважины восходящим потоком промывочной жидкости.

Забой скважины при шароструйном бурении имеет вогнутую криволинейную форму, т.к шары, вылетая из аппарата в различных направлениях, встречаются с поверхностью забоя под различными углами, что

приводит к неравномерному разрушению горной породы забоя скважины [55]. Кроме того, шары сталкиваясь друг с другом и рикошетируют [55].

1.2. Тенденция развития шароструйных аппаратов

В 1955г. американская нефтяная компания «CarterOilCo» ставит интересную задачу перед исследователями «О создании и разработке нового способа бурения, в корне отличающегося от существующих, а именно роторного и турбинного» [34]. В течении нескольких лет группа из 25-ти американских ученых проводила обширные исследования в области разрушения горной породы быстродвижущимися шарами. Результатами данного исследования является, создание устройства, способного разгонять и рециркулировать породоразрушающие элементы (см. рис. 2). Устройством, которое полностью отвечает заявленным требованиям, оказался водоструйный насос. Подробные выкладки и результаты данных исследований полностью освещены в работе И. Е. Эскеля, Ф. Г. Дэйли, Л.У. Леджервуда.

В результате проведенных лабораторных исследований было установлено, что наибольшая механическая скорость проходки может быть достигнута при прочих равных условиях в случае использования шаров максимально возможного диаметра, не заклинивающих в камере смещения [40].

В 1961 г. один из участников исследований Л.У. Леджервуд [40] отмечал: «Импульсное шариковое бурение не имеет практического применения. На достигнутом уровне с его помощью можно разрушать породы, но с экономической точки зрения этот процесс значительно менее выгоден, чем обычное вращательное бурение».

Несмотря на приведенные заключения, с 1963 г. в Южно-Казахстанском геологическом управлении начались дальнейшие исследования данного способа бурения, называемого шароструйным (при этом породоразрушающий инструмент (ПРИ) назывался «шароструйным аппаратом») [26]. Причем в силу того, что для эффективной работы шароструйного аппарата нет необходимости в его вращении, его применяли для искусственного искривления геологоразведочных скважин. Анализируя

результаты американских ученых, руководитель исследований А.Б. Уваков указывал на их не совсем объективные выводы [58]. Американцы при проведении экспериментов делали акцент на определение физической сущности работы шароструйных аппаратов, в тоже время вопросам разрушения горных пород уделялось неоправданно мало внимания. В результате они совершили явную ошибку, пытаясь бурить различные по крепости горные породы при одинаковой скорости вылета шаров из аппарата, равной 22,8 м/с [35].

Авторами установлено, что при разрушении той или иной горной породы существует оптимальная скорость соударения шаров с забоем (40 – 180 м/с), которая зависит от упругих свойств материала шаров и горной породы, диаметра и плотности шаров, динамической твердости горной породы. Скорость шароструйного бурения в режиме усталостного разрушения с увеличением твердости горных пород уменьшается, а в режиме оптимального разрушения – увеличивается. Эта зависимость является очень важной, т.к. подчеркивает целесообразность применения способа для бурения крепких горных пород. В оптимальном режиме износ шаров и шароструйного аппарата будет минимальным вследствие исключения отскока шаров от забоя. Скорость проходки при этом может достигать до 20 м/ч в породах VII–XI категорий буримости [34].

Промышленные испытания показали превышение механической скорости бурения на 20% и проходки на долото на 43% по сравнению с серийными долотами. Бурение осуществлялось в интервале 500–1100 м по породам средней крепости [58].

Американские исследователи для проведения полевых испытаний использовали «гравитационно-инжекционный» буровой снаряд (рис. 2) [33].

В конструкции снаряда было предусмотрено использование специальных *лап* 7, контактирующих с забоем скважины для поддержания оптимального расстояния между долотом и забоем, не разрушая его. Важной особенностью

данного снаряда является образование «облака резервных шаров» 8 на уровне сопла 2 [33].

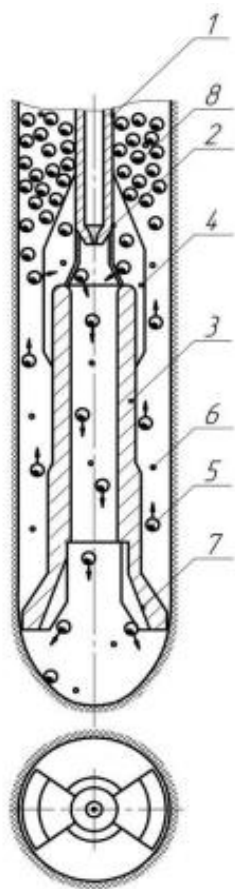


Рисунок 2 – Гравитационно-эжекторный буровой снаряд:

1 – колонна бурильных труб; 2 – сопло; 3 – камера смешения; 4 – ребра; 5 – породоразрушающие шары; 6 – шлам; 7 – «лапы»; 8 – облако резервных шаров

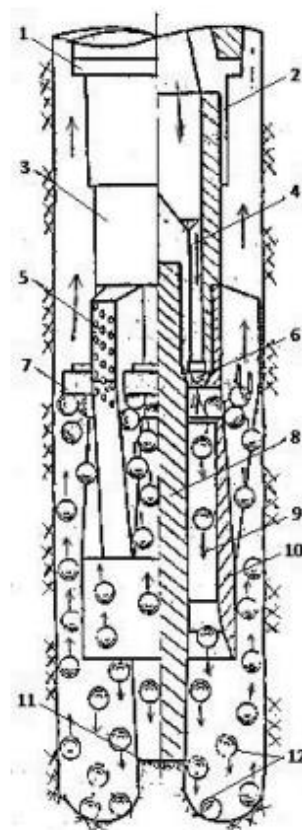


Рисунок 3 – Шароструйно-эжекторный буровой снаряд:

1 – калибратор; 2 – переводник; 3 – присоединительная головка; 4 – подводящие жидкость каналы; 5 – калибрующее-центрирующие ребра; 6 – кольцевое сопло; 7 – задерживающее устройство; 8 – опора снаряда; 9 – кольцевая камера смешения; 10 – корпус снаряда; 11 – твердосплавные зубки; 12 – шары

Заурбеков С.А. в своей работе [26] указывается на малый расход шаров в камере смешения (не более 140 ш/с), осуществляемый струйным аппаратом с соплом и камерой смешения цилиндрической формы с их последовательным осевым расположением. В связи с этим был предложен снаряд с *соплом 6* и *камерой смешения 9* кольцевой формы, при этом центральная часть забоя скважины разрушается с помощью *опоры 8*, заканчивающейся

твердосплавными зубками 11 (рис. 3). Такая конструкция обеспечивает поддержание оптимального расстояния между долотом и забоем в процессе бурения, использование *задерживающего устройства 8* позволяет снять ограничения на максимальный расход промывочной жидкости, а также направлять шары во впускные окна [33].

Следует отметить, что ряд авторов считает эффективной конструкцию ШЭБС, в основе которой лежит струйный аппарат с соплом и камерой смешения цилиндрической формы с их последовательным осевым расположением, периферийная часть (рис. 4). Однако данная конструкция имеет недостатки, связанные с комбинированным разрушением забоя скважины: износ механического вооружения снаряда, необходимость во вращении и осевой нагрузке, сложность управления за процессом бурения [57].

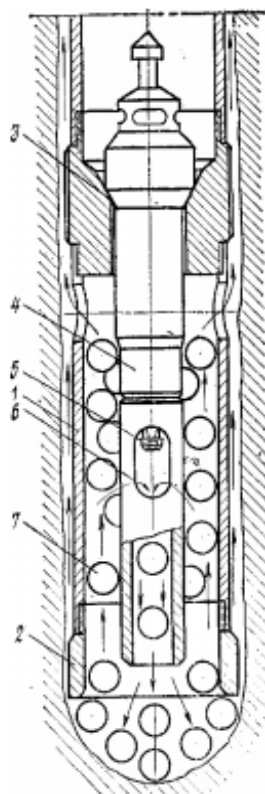


Рисунок 4 – Шароструйно-эжекторный буровой снаряд с вооружением лопастного типа: 1 – корпус; 2 – породоразрушающий опорный башмак; 3 – гнездо; 4 – струйный аппарат; 5 – сопло; 6 – камера смешения с окнами; 7 – шары.

На рисунке 5 представлена схема модели, разработанной в США, которая позволяет сооружать скважины с отбором керна [50].

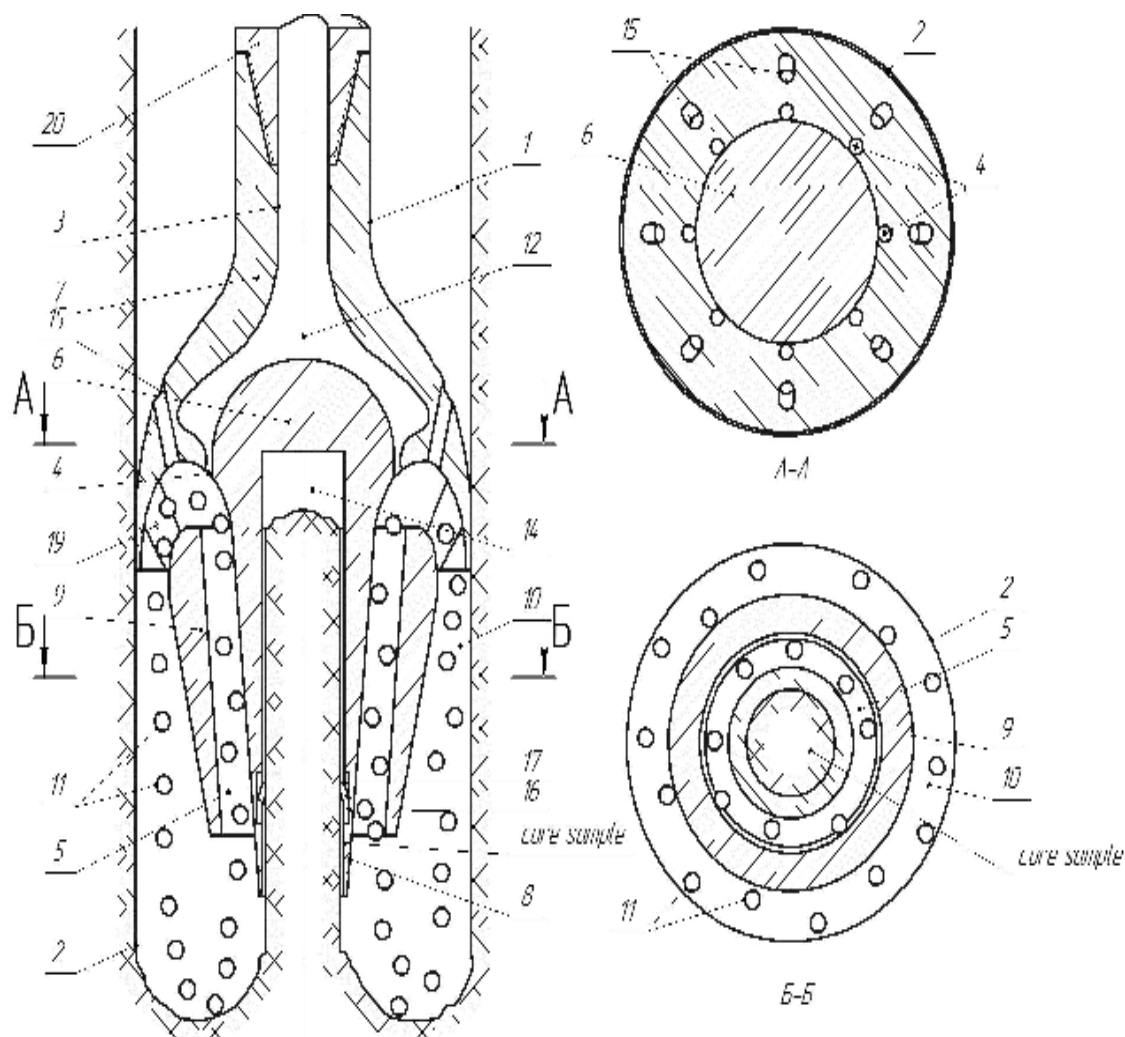


Рисунок 5 – Схема прибора для бурения с отбором керна

1 – корпус; 2 – ребристая насадка; 3 – керноприемная труба; 4 – коронка; 5 – столбик керна; 6 – сопло; 7 – всасывающие окна; 8 – камера смешения; 9 – расширяющий конус; 10 – канал; 11 – гнездо съемной кассеты; 12 – съемная кассета с кернорвателем.

Принцип работы данного прибора:

После спуска бурильных труб до забоя скважины, необходимо засыпать порцию породоразрушающих шаров, после чего через колонну бурильных труб сбрасывают *съемную кассету 12*, которая перекрывает проходкой канал *керноприемной трубы 3*. При подаче промывочной жидкости, она проходит через *канал 10*, *сопло 6* и попадает в *камеру смешения 8*, где в зоне всасывающих окон создается разрежение, благодаря которому

породоразрушающие шары циркулируют в призабойной зоне скважины [50].

Проходя через *камеру смещения 8*, шары разгоняются, в дальнейшем соударяясь с горной породой разрушая ее. Нижняя часть *камеры смещения 8*, имеет коническую форму благодаря, которой исключается непосредственный контакт шаров с *ребристой насадкой 2*, а также *керноприёмной трубой 3*. В области над *всасывающими окнами 7*, происходит процесс торможения шаров, а также их накопление [50].

Это способствует более равномерной подаче породоразрушающих шаров в *камеру смещения 8*, а также предохраняет *ребристую насадку 2* от быстрого износа. После заполнения керном, *съёмная труба 12* извлекается с помощью овершота на поверхность, далее через колонну бурильных труб сбрасывают новую съёмную трубу, которая фиксируется в *гнезде съёмной кассеты 11* и процесс бурения возобновляется до момента заполнения вновь спущенной *съёмной трубы 12*. Для того, чтобы извлечь отработанные породоразрушающие шары используют обратную циркуляцию, при которой шары через *керноприёмную трубу 3* выносятся промывочной жидкостью на поверхность. При замене *коронки 4* на долото данный снаряд используется для бурения без отбора керна [50].

На рисунке 6 представлена схема базовой конструкции бурового снаряда, принятого А.В. Ковалевым для проведения экспериментальных исследований.

Эффективность шароструйного бурения определяется множеством факторов, поэтому изменение условий бурения (например, переход от бурения одной породы к другой) должно сопровождаться соответствующей корректировкой работы снаряда без проведения спускоподъемных операций. Поэтому необходима разработка средств автоматизации и контроля процесса углубки скважины [34].

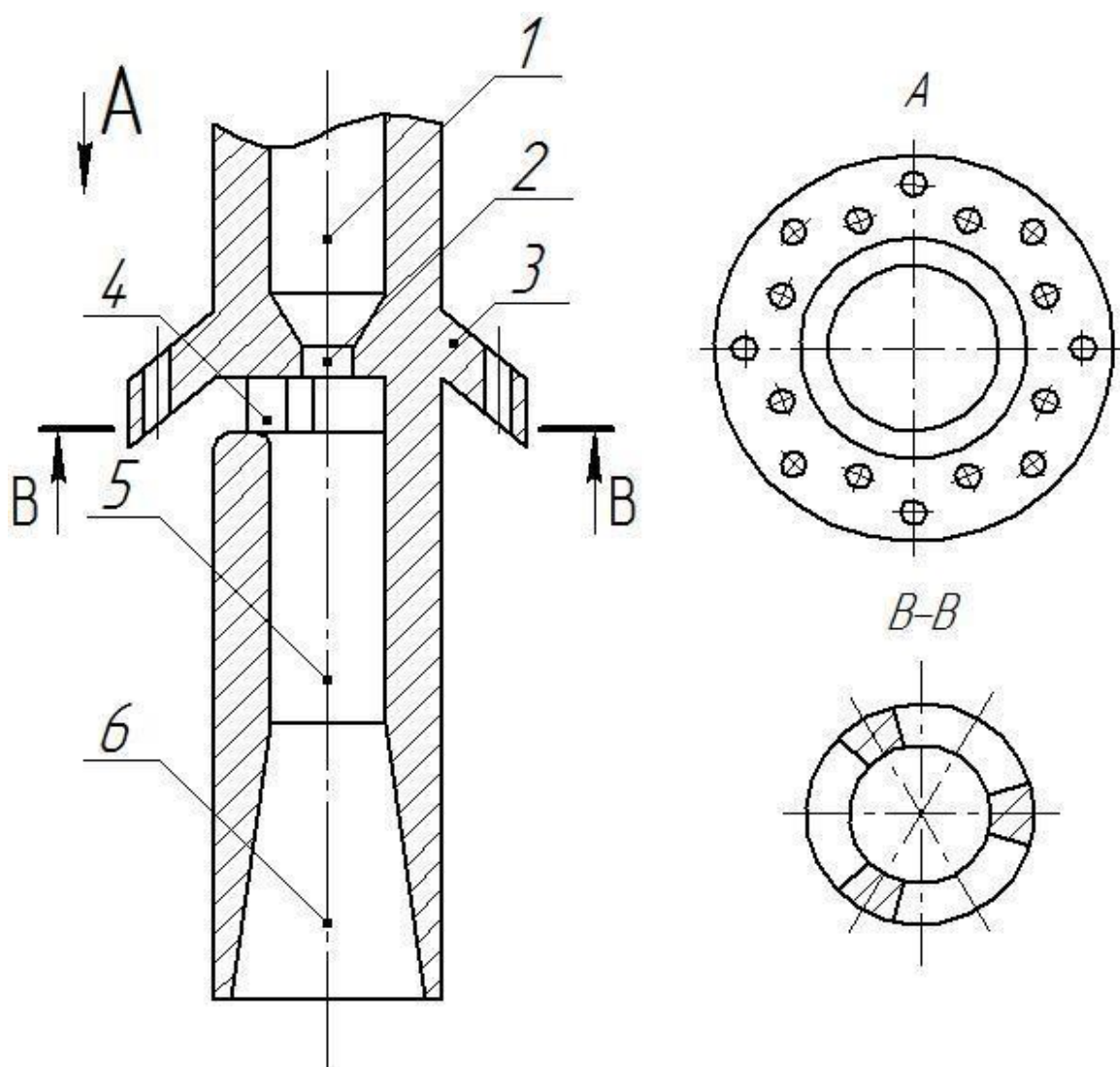


Рисунок 6 – Шароструйно-эжекторный буровой снаряд:

1 – камера подвода рабочей жидкости; 2 – сопло; 3 –задерживающее устройство; 4 – ребра между технологическими окнами; 5 – камера смешения; 6 – диффузор.

В работах [22, 26] представлена информация о проведении полевых испытаний шароструйного способа бурения скважин. При этом было опробовано два способа доставки шаров на забой скважины.

Первый заключается в доставке шаров в бумажных пакетах, которые сбрасывались в скважину. После включения подачи бурового раствора и начала процесса бурения эти пакеты размягчаются, из них высыпаются шары и пакеты выносятся на поверхность [22].

Второй способ заключается в спуске в скважину специального контейнера, представляющего из себя колонковую трубу, суженную в нижней части и забитую глиной. Данный контейнер спускается на бурильных трубах, после включения насоса, под давлением жидкости шары продавливают глину и перемещаются на забой скважины, а контейнер извлекается на поверхность. Для удаления шаров с забоя скважины используют шароуловители различных конструкций, спускаемые на забой после извлечения долота из скважины. Высокая трудоемкость, низкая надежность и значительные потери времени на спуско-подъемные операции при выполнении этих операций требуют разработки устройства, обеспечивающего спуск бурового снаряда с шарами на забой скважины и их подъем с забоя скважины вместе со снарядом после окончания рейса без дополнительного спуска шароуловителя [34].

С 2012 г. исследования шароструйного способа проводят на кафедре бурения скважин Томского политехнического университета. Следует отметить, что разработка шароструйно-эжекторного бурового снаряда для бурения в производственных условиях проводилась на основе результатов экспериментальных исследований [33]. При этом необходимо было обеспечить его достаточную прочность и жесткость, а также надежность резьбовых соединений [33].

Процесс бурения сопровождается постоянным износом деталей шароструйного снаряда, которые взаимодействуют с породоразрушающими шарами, шламом и промывочной жидкостью. При этом интенсивный износ первичного сопла возможен вследствие абразивного воздействия бурового

раствора; износ технологических окон и камеры смещения – за счет взаимодействия с шарами и шламом, кавитационной эрозии; выходного торца диффузора – вследствие ударов отскачивших от забоя скважины шаров. В связи с этим необходимо было разработать мероприятия по уменьшению износа, а также предусмотреть возможность оперативной смены основных элементов снаряда при его подъеме из скважины [8].

Разработанная конструкция представлена на рисунке 7. Она состоит из пяти сменных частей.

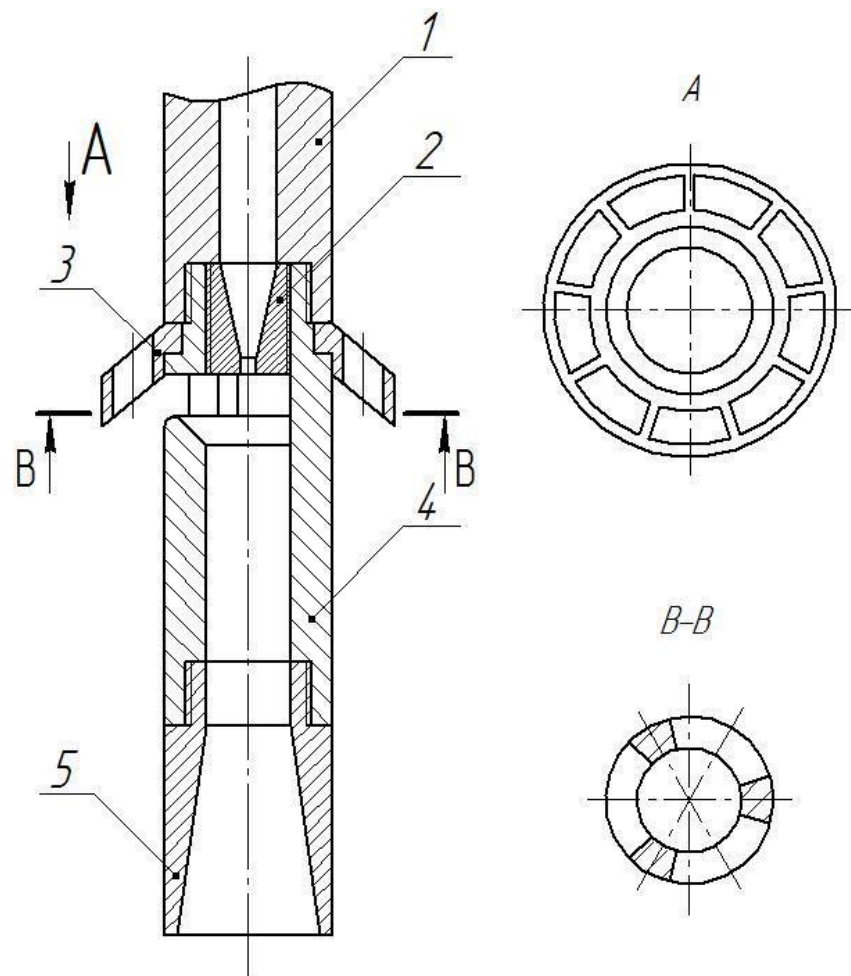


Рисунок 7 – Шароструйно-эжекторный буровой снаряд для бурения в производственных условиях: 1 – переводник, 2 – сопло, 3 – задерживающее устройство, 4 – камера всасывания, 5 – диффузор.

Для бурения скважин шароструйно-эжекторными буровыми снарядами исследуемой конструкции углубку скважины необходимо осуществлять с использованием метода расхаживания. Данный метод при бурении снарядами с рекомендованными соотношениями геометрических параметров позволяет поддерживать диаметр и требуемое расстояние между долотом и забоем. При этом важнейшим параметром режима бурения является периодичность расхаживания, значение которой не следует завышать [2].

Компоновка низа бурильной колонны для шароструйного бурения с расхаживанием бурового снаряда представлена на рисунке 8.

Недостатками данной технологической схемы является сложность управления за процессом шароструйного бурения на больших глубинах [34].

Основываясь на результатах экспериментальных исследований, приведенных в работе А.В. Ковалева, можно сделать вывод, что контроль процесса углубки скважины при шароструйном бурении можно осуществить с помощью датчика расхода шаров в камере смешения, установленного в корпусе бурового снаряда [34].

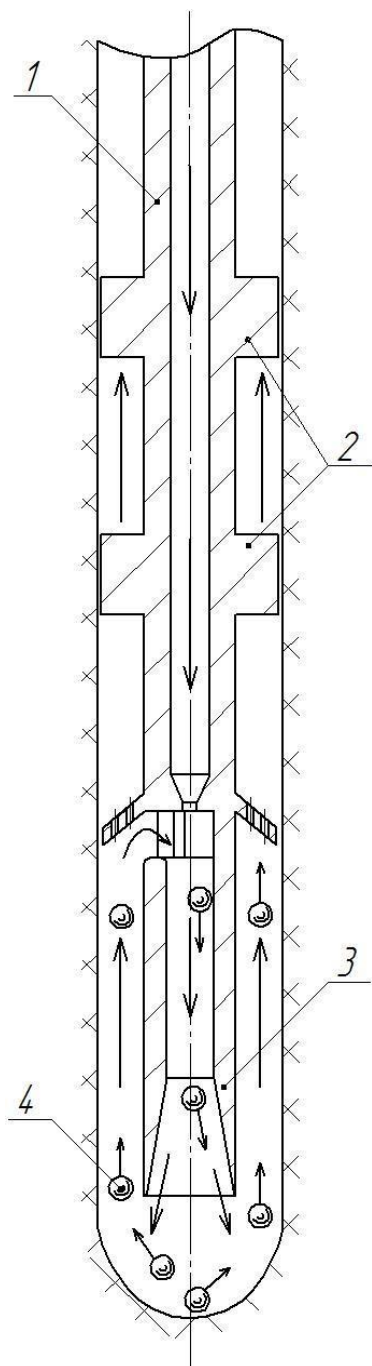


Рисунок 8 – Компоновка низа бурильной колонны для шароструйного бурения с расхаживанием бурового снаряда: 1 – колонна бурильных труб; 2 – центраторы; 3 – буровой снаряд; 4 – породоразрушающие шары.

Известно, что в процессе бурения происходит износ породоразрушающих шаров. Проблему износа шаров можно решить использованием шаров из твердосплавных материалов, обладающих высокой износостойкостью. Однако высокая стоимость и дефицитность твердосплавных шаров ограничивает возможность их применения. Важным моментом в уменьшении износа породоразрушающих элементов является оптимизация движения шаров в призабойной части скважины [3]. Однако процесс износа шаров во время бурения неизбежен, поэтому их периодическая замена (или подпитка) является необходимой [33].

Следует отметить, что высокая трудоемкость, низкая надежность и значительные потери времени на спуско-подъемные операции при выполнении операций по замене изношенных шаров новыми требуют разработки технических средств, обеспечивающих повышение рейсовой скорости бурения. Так, представляется возможной разработка устройства, способного наряду с заменой изношенных шаров новыми спускать шары на забой и поднимать их с забоя скважины вместе с буровым снарядами. Исходя из целевого назначения предлагаемого устройства, назовем его улавливающе-подпитывающим [7].

Разработанная схема компоновки низа бурильной колонны с улавливающе-подпитывающим устройством представлена на рисунке 9 [34].

Принцип работы УПУ заключается в выполнении следующей последовательности технологических операций [34]:

1. спуск представленной компоновки низа бурильной колонны до забоя скважины (при этом задерживающее устройство находится в транспортном положении);
2. воздействие на забойный шаропитатель с целью подачи на забой первой порции шаров;
3. воздействие на задерживающее устройство (ЗУ), перевод его в рабочее положение;
4. процесс бурения до появления признаков чрезмерного износа шаров;

5. воздействие на ЗУ, перевод его в транспортное положение ;
6. включение бурового насоса, подъем шаров до забойного шароуловителя, их улавливание;
7. воздействие на забойный шаропитатель, приводящие к высыпанию второй порции на забой;
8. воздействие на ЗУ, перевод его в рабочее положение;
9. включение насоса, возобновление процесса бурения.

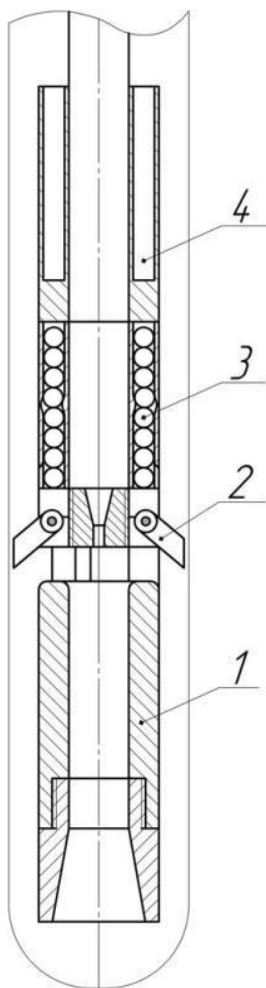


Рисунок 9 – Схема компоновки низа буровой колонны с улавливающе-подпитывающим устройством: 1 – буровой снаряд; 2 – задерживающее устройство; 3 – забойный шаропитатель; 4 – забойный шароуловитель

Так, для сокращения количества СПО, экономии времени и средств, затрачиваемых на бурение скважин, была предложена схема компоновки низа бурового снаряда с электромагнитной системой забора отработанных шаров (рисунок 10). Данная конструкция позволяет не производить подъем аппарата из скважины для забора изношенной порции шаров [38].

Для замены изношенных шаров с устья скважины при помощи овершота на талевом канате, спускают компоновку *запорного клапана 7*. *Запорный клапан 7* садится в посадочное *седло ишторки 3 технологического окна*. Создается избыточное давление, которое приводит к деформации *упругих элементов 4 и 8*, происходит открытие *ишторки 3 технологического окна* и складывание *задерживающего устройства 10*. *Упругий элемент 4* необходим для компенсации разности ходов, складывания *задерживающего устройства* и полного открытия *заборных окон* [38].

Таким образом, процесс открытия технологических окон и перевод *задерживающего устройства 10* в транспортное состояние происходит параллельно. При этом *запорный клапан 7* садится в запорное седло и частично перекрывает подачу бурового потока, увеличивая его давление.

На рисунке 10 представлена конструкция компоновки рабочей части бурильной колонны со спущенным *запорным клапаном 7*.

Процесс циркуляции бурового раствора продолжается. Включим *электромагнит 1* работающий в импульсном режиме. Смешанный поток увлекает породоразрушающие шары в кольцевой зазор между долотом и стенками скважины поднимая их. По мере подъема шаров в затрубном пространстве скорость смешанного потока снижается, *электромагнит 1* воздействуя на породоразрушающие шары изменяет их траекторию, затягивая в колонну бурильных труб через заборные окна. Далее шары направляются в перфорированную *приемную корзину 2* где происходит их накапливание [38].

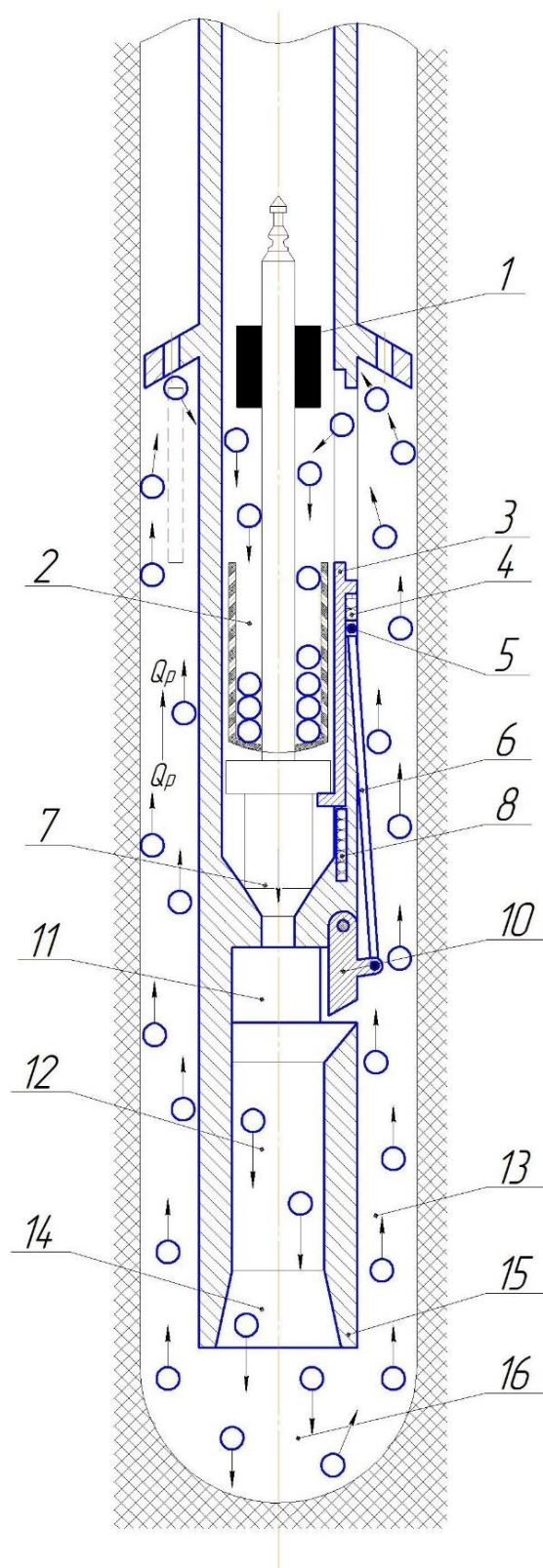


Рисунок 10 – Схема компоновки рабочей части буровой колонны со спущенным запорным клапаном.

- 1 – электромагнит;
- 2 – перфорированная приемная корзина;
- 3 – шторка технологического окна;
- 5 – тяга;
- 4 и 8 – упругие элементы;
- 5 – шток;
- 6 – тяга;
- 7 – запорный клапан;
- 10 – складывающиеся задерживающие устройство;
- 11 – зона разрезания;
- 12 – камера смешения;
- 13 – затрубное пространство;
- 14 – диффузор;
- 15 корпус;
- 16 – область между долотом и забоем;

Q_p – расход промывочной жидкости, подводимой к буровому снаряду.

При помощи овершота, из колонны бурильных труб извлекаем компоновку запорного клапана с электромагнитом и заполненной приемной корзиной. Выполняем подпитку новой порцией шаров и возобновляем процесс бурения [38].

Шары, извлечь которые не удалось, циркулируют в призабойной зоне изнашиваясь далее, после чего выносятся с буровым шламом на устье скважины [38].

В процессе анализа и исследования конструкции представленной на рисунке 10 были выделены следующие преимущества:

- увеличение рейсовой скорости, за счет сокращения спуско-подъемных операций;
- повышение технологической и экономической эффективности.

К недостаткам следует отнести:

- сложность изготовления конструкции;
- наличие подвижных элементов;
- отсутствие возможности замены деталей компоновки низа бурильной колонны;

Таким образом, возникает необходимость в оптимизации и упрощении системы забора отработанных шаров.

1.3. Оптимизация режимов работы шароструйно-эжекторных аппаратов путем регулирования скорости рабочего потока жидкости.

Известно, что кинетическая энергия, передаваемая от шара к горной породе, влияет на эффективность бурения [38].

$$E_0 = \frac{m_0 \cdot V^2}{2}, \quad (1)$$

где m – масса шара; V – скорость бурового потока.

Чем больше кинетическая энергия шара, тем больше сила удара, следовательно, процесс изнашивания породоразрушающих шаров будет происходить быстрее.

Условно предположим, что в процессе бурения диаметр породоразрушающих шаров изменяется по линейной зависимости от времени бурения (график 1).

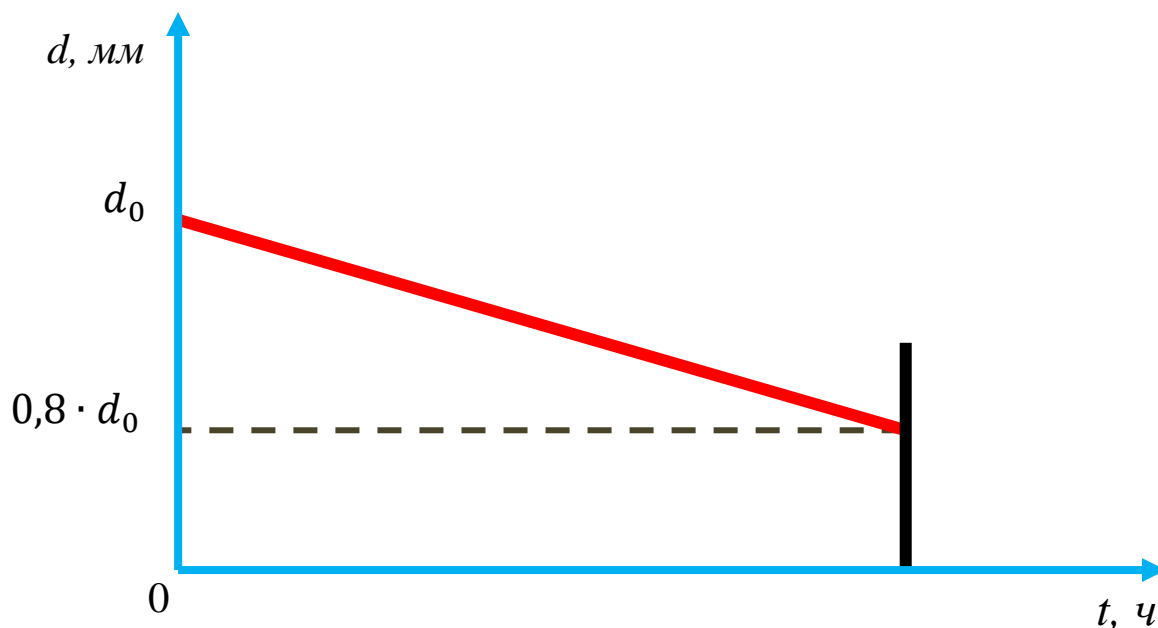


График 1 - Зависимость диаметра шара от времени бурения

Предположим, что в процессе бурения диаметр шара изменился на 20%. Определим диаметр изношенного шара по формуле 2:

$$d = 0,8 \cdot d_0, \quad (2)$$

где d – диаметр изношенного породоразрушающего шара; d_0 – начальный диаметр шара.

Уменьшение диаметра шара влечет за собой уменьшение его массы. Для того, чтобы определить массу шара воспользуемся формулой 3:

$$m = \rho \cdot V, \quad (3)$$

где ρ – плотность материала шара; V – объем шара.

Объем породоразрушающего шара рассчитаем по формуле 4:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3, \quad (4)$$

где R – радиус шара.

Для определения радиуса шара воспользуемся формулой 5:

$$R = \frac{d}{2}. \quad (5)$$

Подставив (4) и (5) получим:

$$m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{d^3}{8} \cdot \rho. \quad (6)$$

$$m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{0,8^3 \cdot d_0}{8} \cdot \rho = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{0,512 \cdot d_0}{8} \cdot \rho. \quad (7)$$

Из формулы (7) можно сделать следующий вывод, что с уменьшением диаметра шара на 20%, масса его уменьшается вдвое. График изменения массы шара условно имеет кубическую зависимость от времени бурения (график 2).

С уменьшением массы породоразрушающих шаров, изменяется их кинетическая энергия шара.

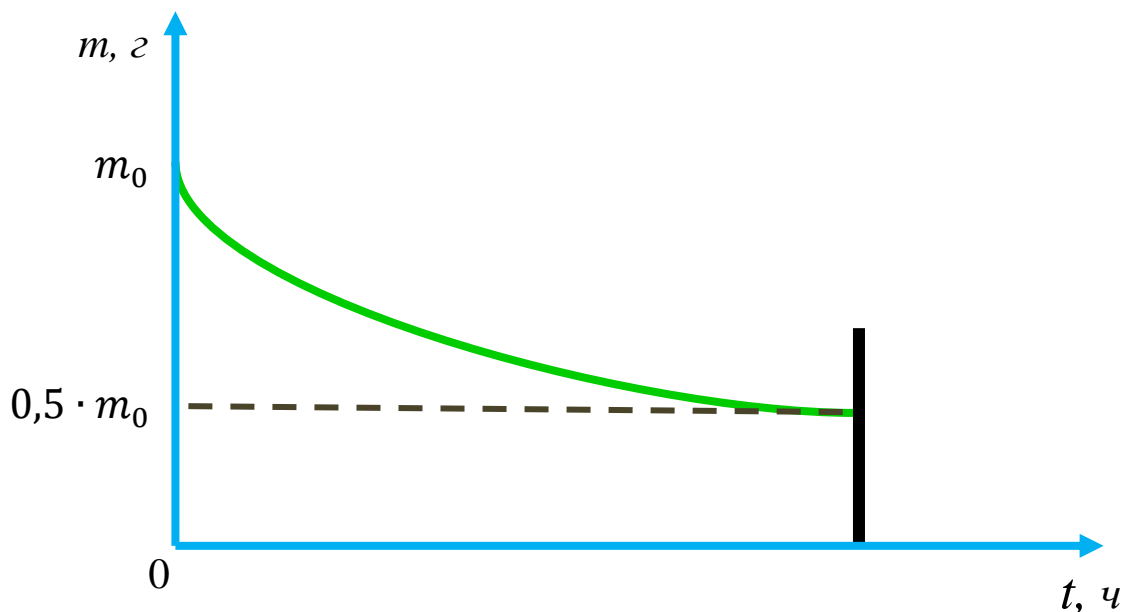


График 2 - Зависимость массы шара от времени бурения

Для определения кинетической энергии изношенного шара подставим (7) в формулу (1) и получим:

$$E = \frac{0,512 \cdot m_0 \cdot V^2}{2}. \quad (8)$$

Из формулы (8) видно, что с уменьшением массы шара вдвое, его кинетическая энергия уменьшается вдвое. Следовательно, разрушение горной породы происходит медленно и неэффективно, скорость проходки падает.

Для поддержания постоянной скорости проходки следует по мере износа рейсовой порции породоразрушающих шаров увеличивать скорость рабочего потока жидкости (график 3).

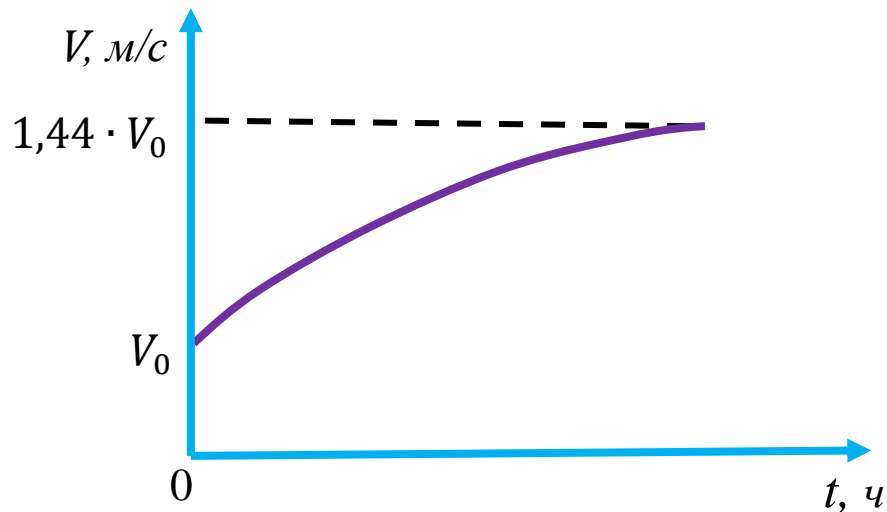


График 3 - Зависимость скорости потока от времени бурения

Начальная кинетическая энергия шара равна:

$$E_0 = \frac{m_0 \cdot V_0^2}{2}, \quad (9)$$

где V_0 – начальная скорость бурового потока.

Кинетическая энергия изношенного шарана 20% равна:

$$E = 0,512 \cdot E_0. \quad (10)$$

Составим зависимость:

$$\frac{m_0 \cdot V_0^2}{2} = \frac{0,512 \cdot m_0 \cdot V^2}{2}, \quad (11)$$

где V – увеличенная скорость бурового потока.

Отсюда:

$$V_0^2 = 0,512 \cdot V^2. \quad (12)$$

Найдем скорость увеличенного бурового потока:

$$V = \frac{1 \cdot V_0}{\sqrt{0,512}} = \frac{1 \cdot V_0}{0,715} = 1,44 \cdot V_0. \quad (13)$$

Из формулы (13) видно, что для компенсации кинетической энергии изношенного шара на 20%, необходимо увеличить скорость бурового потока на 40%.

Рассмотрим оптимальный способ поддержания постоянной скорости проходки (график 4).

При использовании оптимального способа износ породоразрушающих шаров до 10% компенсируется с помощью увеличения скорости бурового раствора до 20%. Далее бурение продолжается с постоянной скоростью потока. В процессе бурения происходит дальнейший износ шаров и уменьшение кинетической энергии.

При допуске износа по диаметру породоразрушающих шаров на 20% и компенсации кинетической энергии при износе до 10%, с помощью повышения скорости потока на 20%, кинетическая энергия шара на момент замены порции шаров составит 73% от начальной. Дальнейшее продолжение бурения можно считать неэффективным, т.к. скорость бурения существенно падает.

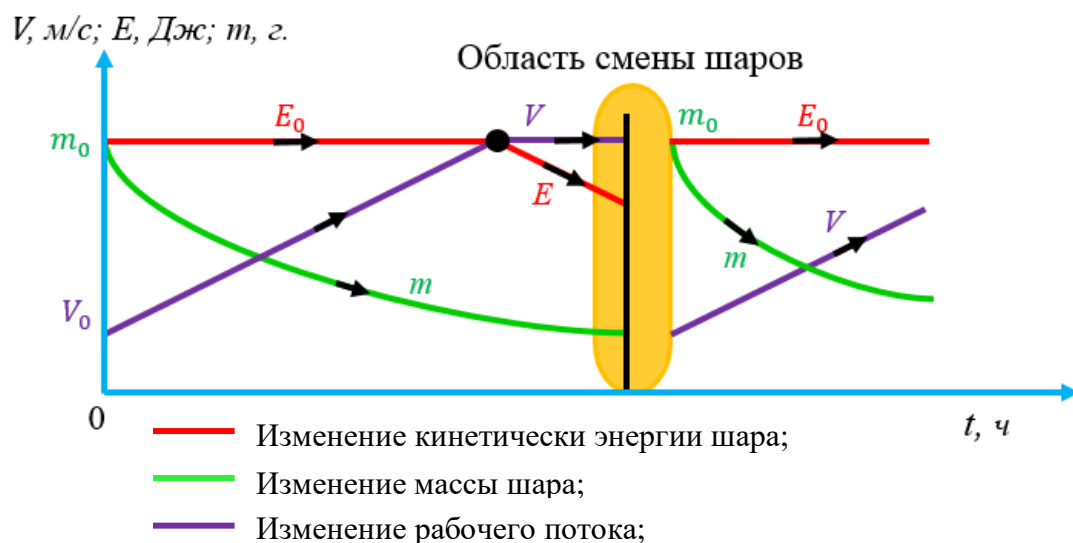


График 4 – Комбинированный способ поддержания постоянной скорости проходки

2. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ НИЗА БУРИЛЬНОЙ КОЛОННЫ ДЛЯ ШАРОСТРУЙНО-ЭЖЕКТОРНОГО АППАРАТА

Раздел не подлежащий публикации в связи с разработкой новой технологии, претендующей на патент.

3. РАСЧЁТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БУРЕНИЯ ШАРОСТРУЙНО-ЭЖЕКТЕРНОГО АППАРАТА ДЛЯ СКВАЖИН ДИАМЕТРОМ 215,9 ММ.

3.1. Расчёт геометрических параметров бурения

Примем, что к началу бурения с использованием компоновки низа бурильной колонны шароструйного снаряда определенная глубина была пройдена шарошечным долотом, диаметр которого предстоит определить для того, чтобы максимально приблизить условия проектирования к реальным.

Предположим также, что решение перехода от вращательного способа к шароструйному было принято в связи с увеличением крепости горной породы, так как применение шароструйного бурения в диапазоне залегания мягких пород нецелесообразно.

Известно [7], что при шароструйном бурении для эффективного разрушения горной породы следует применять шары максимально возможного диаметра.

Диаметр породоразрушающих шаров

Для определения максимального размера породоразрушающих шаров воспользуемся формулой 14:

$$d_{\text{ш}} = \frac{D_{\text{СКВ}}}{6,6} = \frac{215,9}{6,6} = 32,71 \text{ мм.}, \quad (14)$$

где $D_{\text{СКВ}}$ - диаметр скважины, равный 215,9 мм.

Согласно ГОСТ 3722-2014 «Подшипники качения. Шарики стальные. Технические условия», примем: $d_{\text{ш}} = 32,54 \text{ мм.}$

Шары будем изготавливать из твердого сплава вольфрамокобальта ВК – 15. Исходя из полученного значения диаметра шара, вычислим основные геометрические параметры ШЭБС.

Наружный диаметр бурового снаряда

Наружный диаметр бурового снаряда определим по формуле 15:

$$d_{\text{бс}}^{\text{н}} = D_{\text{СКВ}} - 2 \cdot 1,1 \cdot d_{\text{ш}} = 215,9 - 2 \cdot 1,1 \cdot 32,54 = 144 \text{ мм.} \quad (15)$$

Размеры диффузора

Наиболее сложной задачей расчета является установление оптимальной формы диффузора, соответствующей безотрывному течению и минимуму потерь энергии при заданных режимных параметрах [26].

По экспериментальным данным, приведенным в большинстве работ [24, 25, 27], значение оптимального угла раскрытия диффузора составляет 8° . На основании экспериментальных исследований [28] установлено, что наилучшая скорость проходки при шароструйном бурении наблюдается при угле раствора диффузора, равным 30° . Авторы объясняют это тем, что с увеличением угла раствора уменьшается длина диффузора, что в свою очередь ведет к увеличению величины скорости шара, с которой он ударяется о забой скважины [10].

Высоту диффузора определим по формуле 16:

$$l_d = \frac{\frac{d_{\text{бс}}^H - d_{\text{кс}}}{2} - r_1}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (16)$$

где: $d_{\text{бс}}^H$ – наружный диаметр струйного аппарата; r_1 – толщина стенки диффузора в выходном сечении; α – угол раскрытия диффузора.

Для обеспечения достаточного количества ударов шаров по периферийной части забоя при меньшем расстоянии между долотом и забоем, выбираем угол раскрытия $\alpha = 10^\circ$.

Толщину стенки определим по формуле 17:

$$r_1 = 0,5 \cdot d_{\text{ш}} = 0,5 \cdot 31,75 = 15,875 \approx 18 \text{ мм.} \quad (17)$$

Тогда высота диффузора равна:

$$l_d = \frac{\frac{144 - 72}{2} - 18}{0,176} = 102,27 \approx 100 \text{ мм.}$$

Камера смещения

По экспериментальным данным Увакова А.Б. [7] во избежание заклинивания шаров в камере смещения ее диаметр должен определяться по формуле 18:

$$d_{\text{кc}} = 2,2 \cdot d_{\text{ш}} = 2,2 \cdot 31,75 = 71,97 \approx 72 \text{ мм.} \quad (18)$$

Следовательно, площадь камеры смещения вычислим по формуле 19:

$$S_{\text{кc}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{кc}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 72^2}{4} = 4069,44 \approx 4070 \text{ мм}^2. \quad (19)$$

Длина камеры смещения определяется по формуле 20:

$$l_{\text{кc}} = 8 \cdot d_{\text{кc}} = 8 \cdot 72 = 576 \approx 580 \text{ мм.} \quad (20)$$

Высота технологических окон

Определим высоту технологических окон по формуле 21:

$$h_{\text{то}} = 1,25 \cdot d_{\text{ш}} = 1,25 \cdot 31,75 = 39,69 \approx 40 \text{ мм.} \quad (21)$$

Для определения толщины ребер технологического окна, необходимо определить толщину стенок камеры смещения по формуле 22, так как это значение равно толщине ребер.

$$h = \frac{d_{\text{ш}}^2 - d_{\text{кc}}^2}{2} = \frac{144 - 72}{2} = 36 \text{ мм.} \quad (22)$$

Первичное сопло

Определим диаметр первичного сопла по формуле 23:

$$d_c = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\text{кc}} \cdot \left[\frac{S_c}{S_{\text{кc}}} \right]}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 529,1}{3,14}} = 25,96 \approx 26 \text{ мм} \quad (23)$$

Определим площадь выходного сечения сопла по формуле 24:

$$S_c = \left[\frac{S_c}{S_{\text{кc}}} \right] \cdot S_{\text{кc}} = 0,13 \cdot 4070 = 529,1 \text{ мм}^2 \quad (24)$$

Определим длину цилиндрической части сопла по формуле 25:

$$l_{\text{соп}}^{\text{цил}} = (1 \dots 2) \cdot d_{\text{соп}}^{\text{цил}} = 2 \cdot 26 = 52 \text{ мм} \quad (25)$$

3.2. Расчёт технологических параметров бурения

Расчёт оптимального режима шароструйного бурения будет проводиться для скважины диаметром 215,9 мм в твердых породах, категории крепости IX – XII. В качестве промывочной жидкости будем использовать воду ($\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$).

Предполагается для бурения использовать породоразрушающие шары из твердого сплава вольфрамокобальта ВК – 15, работающих в агрессивных средах и при повышенной температуре (коррозионно-стойкая, теплостойкая).

1. Определим оптимальную массу рейсовой порции породоразрушающих шаров по формуле 26:

$$m_{\text{ш}} = m_{1\text{ш}} \cdot N^{\text{ш}} = \frac{\rho_{\text{ш}} \cdot \pi \cdot d_{\text{ш}}^3 \cdot N^{\text{ш}}}{6}, \quad (26)$$

где $N^{\text{ш}}$ – количество поднимающихся шаров в затрубном пространстве, вычисляемое по формуле 27:

$$N^{\text{ш}} = \left(\frac{l_{\text{бс}}}{d_{\text{ш}} \cdot C_1} \right) \cdot \left(\frac{\pi \cdot (d_{\text{бс}} + D_{\text{СКВ}})}{2 \cdot d_{\text{ш}} \cdot C_2} \right), \quad (27)$$

где C_1 – коэффициент, учитывающий зазор между рядами, по экспериментальным данным $C_1 = 1,5$; C_2 – коэффициент, учитывающий зазор между шарами в ряду, по экспериментальным данным $C_2 = 1,5$.

Тогда,

$$N^{\text{ш}} = \left(\frac{1000}{31,75 \cdot 1,5} \right) \cdot \left(\frac{3,14 \cdot (144 + 215,9)}{2 \cdot 31,75 \cdot 1,5} \right) \approx 250$$

$$m_{\text{ш}} = m_{1\text{ш}} \cdot N^{\text{ш}} = \frac{7750 \cdot 3,14 \cdot 0,03175^3 \cdot 250}{6} = 32,45 \text{ кг.}$$

2. По формуле 28 определим скорость породоразрушающего шара, необходимую для разрушения горной породы в оптимальном режиме:

$$V_{\text{опт}} = 2,15 \cdot \left(\frac{4 \cdot (1 - \mu_1^2)}{E_1} + \frac{4 \cdot (1 - \mu_2^2)}{E_2} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot P_c^5}{\rho_{\text{ш}} \cdot d_{\text{ш}}^3 \cdot \left(\frac{4}{d_{\text{ш}}} - \frac{4}{0,78 \cdot D_{\text{СКВ}}} \right)^3}}. \quad (28)$$

$$\begin{aligned} V_{\text{опт}} &= 2,15 \cdot \left(\frac{4 \cdot (1 - 0,28^2)}{2 \cdot 10^5} + \frac{4 \cdot (1 - 0,25^2)}{0,98 \cdot 10^5} \right)^2 \cdot \\ &\cdot \sqrt{\frac{9,8 \cdot 9 \cdot 10^8}{7,75 \cdot 10^3 \cdot (31,75 \cdot 10^{-3})^3 \cdot \left(\frac{4}{31,75 \cdot 10^{-3}} - \frac{4}{0,78 \cdot 215,9 \cdot 10^{-3}} \right)^3}} = 44,045 \\ &\approx 44 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

3. Скорость падения шаров в воде рассчитываем по формуле 29:

$$q = w \sqrt{\frac{d_{\text{ш}}(\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{ж}})}{\rho_{\text{ж}}}} = 5,11 \sqrt{\frac{31,75 \cdot 10^{-3}(7,75 \cdot 10^3 - 1000)}{1000}} = 2,4 \text{ м/с}. \quad (29)$$

где w — коэффициент, равный для шарообразных тел 5,11.

4. Определим максимально возможную скорость восходящего потока по формуле 30:

$$V_{\text{кп max}} = \frac{q}{1,3} = \frac{2,4}{1,3} = 1,85 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (30)$$

5. Определим максимальный расход жидкости, подаваемой насосом, при котором не происходит размыва стенок по формуле 31:

$$\begin{aligned} Q_{pmax} &= V_{\text{кп max}} \cdot S_{\text{кп}} = V_{\text{кп max}} \cdot \frac{\pi \cdot (D_{\text{д}}^2 - d_{\text{бс}}^2)}{4}; \\ Q_{pmax} &= 1,85 \cdot \frac{3,14 \cdot (0,216^2 - 0,144^2)}{4} = 135,67 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}. \end{aligned} \quad (31)$$

6. По техническим характеристикам бурового насоса выбирается расход Q_p , величина которого должна быть меньше величины максимально возможного расхода Q_{pmax} .

Согласно [29] выбираем:

Насос буровой трехпоршневой УНБТ–950/А со следующей характеристикой производительности.

Таблица 1 - Характеристика бурового насоса УНБТ – 950/А

Д поршня, мм.	Предельно давление на выходе, МПа	Частота двойных ходов в минуту	Подача, м ³ /ч
180	19,0	100	132,5

7. Определим величина средней скорости бурового раствора в буровом снаряде по формуле 32:

$$V_{бс} = \frac{V_{опт}}{\varepsilon} = \frac{44}{0,7} = 62,86 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (32)$$

где ε – отношение скорости шаров к скорости жидкости в буровом снаряде, принимается равному 0,7 [7].

8. Определяется требуемый коэффициент эжекции по формуле 33:

$$n = \frac{S_{кс} \cdot V_{бс}}{Q_p} - 1 = \frac{0,00407 \cdot 62,86}{\frac{132,5}{3600}} - 1 = 2,95. \quad (33)$$

9. Определим перепад давлений в сопле по формуле 34:

$$\Delta P_c = \frac{Q_p^2 \cdot \rho_{бр}}{\mu^2 \cdot 2 \cdot S_c^2} = \frac{0,367^2 \cdot 1000}{0,95^2 \cdot 2 \cdot 0,0005291^2} = 2,67 \text{ МПа} \quad (34)$$

где μ – коэффициент расхода сопла, равный 0,95 [25].

Согласно [22, 27] рассчитанный перепад давления в сопле должен быть не более 12 МПа для предупреждения интенсивного износа сопла при течении через него бурового раствора.

10. Рассчитаем потери давления в циркуляционной системе по формуле 35:

$$\Sigma(\Delta P_i) = \Delta P_T + \Delta P_{3п} + \Delta P_3, \quad (35)$$

где ΔP_T – потери давления в бурильной колонне, $\Delta P_{3п}$ – потери давления в затрубном пространстве, ΔP_3 – потери давления от замков в затрубном пространстве.

Для определения ΔP_T и $\Delta P_{3п}$ необходимо определить режим движения жидкости.

Из [7] известно, что при промывке скважины водой в кольцевом пространстве практически всегда режим течения турбулентный. Поэтому потери давления в трубах и кольцевом пространстве при турбулентном движении бурового раствора рассчитываются по формулам 36 и 37:

$$\Delta P_T = \lambda_T \cdot \frac{8 \cdot \rho_{бр} \cdot Q^2 \cdot L_{СКВ}^{max}}{\pi^2 \cdot d_B^5}, \quad (36)$$

$$\Delta P_{3п} = \lambda_{3п} \cdot \frac{8 \cdot \rho_{бр} \cdot Q^2 \cdot L_{СКВ}^{max}}{\pi^2 \cdot (D_{СКВ} - d_H)^3 \cdot (D_{СКВ} + d_H)^2}, \quad (37)$$

где λ_T , $\lambda_{3п}$ – коэффициенты гидравлического сопротивления в трубах и кольцевом пространстве, принимаются равными 0,02 и 0,035.

Соотношение наружного диаметра бурильных труб муфтово-замкового соединения и основного диаметра скважины рассчитывается по формуле 38:

$$\frac{d_T}{D_{СКВ}} = 0,6. \quad (38)$$

Отсюда:

$$d_T = 0,6 \cdot D_{СКВ} = 0,6 \cdot 215,9 = 129,54 \text{ мм.}$$

Вычислим потери давления в трубах и кольцевом пространстве:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot \frac{8 \cdot 1000 \cdot 0,0368^2 \cdot 4500}{3,14^2 \cdot 0,12^5} = 3,97 \text{ МПа},$$

$$\Delta P_{3п} = 0,035 \cdot \frac{8 \cdot 1000 \cdot 0,0368^2 \cdot 4500}{3,14^2 \cdot (0,2159 - 0,140)^3 \cdot (0,2159 + 0,140)^2} = 3,12 \text{ МПа}$$

Вычислим потери давления от замков в затрубном пространстве по формуле 39:

$$\Delta P_3 = \frac{L_{СКВ}^{max}}{l_{1Т}} \cdot \left(\frac{D_{СКВ}^2 - d_H^2}{D_{СКВ}^2 - d_3^2} - 1 \right)^2 \cdot \rho_{бр} \cdot V_{кп}, \quad (39)$$

где $V_{кп}$ – скорость движения бурового раствора в затрубном пространстве в области бурильных труб, рассчитываемая по формуле 40:

$$V_{кп} = \frac{4 \cdot Q_p}{\pi \cdot (D_{СКВ}^2 - d_H^2)} = \frac{4 \cdot 0,0368}{3,14 \cdot (0,2159^2 - 0,14^2)} = 1,74 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \quad (40)$$

$$\Delta P_3 = \frac{4500}{12} \cdot \left(\frac{0,2159^2 - 0,14^2}{0,2159^2 - 0,171^2} - 1 \right)^2 \cdot 1000 \cdot 1,74 = 0,2 \text{ МПа}.$$

11. Исходя из величин ΔP_c , $\Sigma(\Delta P_i)$, найдем давление перед буровым снарядом по формуле 41:

$$P_{бс} = P_{вых} - (\Delta P_T) = 19 - 3,97 = 15,03 \text{ МПа}. \quad (41)$$

12. Вычислим силу давления на клапан по формуле 42:

$$F = P_{бс} \cdot S_{кк} = 15,03 \cdot 10^6 \cdot 4070 \cdot 10^{-6} = 44\,892 \text{ Н} \quad (42)$$

Таким образом в данном разделе были рассчитаны технологические параметры шароструйного бурения, найдено давление на выходе из диффузора и определены потери давления в замковых соединениях, так же была рассчитана оптимальная масса рейсовой порции шаров и установлена необходимая скорость породоразрушающих шаров для разрушения горной породы. На основании произведенных расчётов был разработан сборочный чертеж компоновки низа бурильной колонны, а также чертеж съёмной сопловой насадки (см. приложение Б, В). Следующим этапом работы является построение компьютерной модели по полученным расчётам.

4. ПОСТРОЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ РАЗРАБОТАННОЙ КОНСТРУКЦИИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SOLIDWORKS

Раздел не подлежащий публикации в связи с разработкой новой технологии, претендующей на патент.

5. РАСЧЁТ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Раздел не подлежащий публикации в связи с разработкой новой технологии, претендующей на патент.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ74	Куренкову Александру Павловичу

Школа	ИШПР	Отделение школы	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление	21.04.01. «Нефтегазовое дело» профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов».

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материально-технических, энергетических, финансовых и человеческих ресурсов научного исследования при разработке конструкции шароструйно-эжекторного бурового снаряда.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	<i>SWOT – анализ проекта</i>
2. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Расчет:</i> – времени на спуско-подъемные операции до оптимизации и после оптимизации конструкции шароструйно-эжекторного бурового снаряда; – фонда заработной платы при бурении с применением ШЭБС; – амортизации оборудования с применением ШЭБС и долота PDC; – экономического эффекта от применения технологии ШЭБС.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Матрица SWOT</i>
2. <i>График проведения и бюджет НТИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	15.03.2019 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Романюк Вера Борисовна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Куренков Александр Павлович		

6. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Введение

В данном разделе выпускной квалификационной работы производится расчет затрат на внедрение оптимизированной конструкции шароструйно-эжекторного бурового снаряда (ШЭБС) в производственную систему бурения скважин, а также расчет экономичности и целесообразности внедрения ШЭБС взамен обычных долот.

Реализация проекта предполагает последовательное внедрение разработанной конструкции с сопутствующей переоснасткой вспомогательного оборудования.

Применение данного метода разрушения твердых и крепких горных пород очень важно для бурения в целом, так как благодаря разработанной конструкции сокращается время на спуско-подъемные операции, становится возможным смена рейсовой порции породоразрушающих шаров без извлечения бурильной колонны из скважины, что в конечном итоге ведет к увеличению рейсовой скорости и повышению технологической и экономической эффективности.

6.1. SWOT - анализ

SWOT-анализ представляет собой комплексный анализ инженерного проекта. Его применяют для того, чтобы перед организацией или менеджером проекта появилась отчетливая картина, состоящая из лучшей возможной информации и данных, а также сложилось понимание внешних сил, тенденций, в условиях которых научно-исследовательский проект будет реализовываться.

Первый этап SWOT-анализа заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Второй этап включает в себя: выявлении соответствий сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта благодаря внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 5 – Матрица SWOT анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Увеличение скорости бурения на 20-30%; С2. Не требует переквалификации кадров; С3. Интеграция в существующие механизмы; С4. Положительные результаты испытаний.	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Отсутствие инжиниринговой компании, способной построить производство «под ключ»; Сл2. Необходимость замены буровых насосов на более мощные.
Возможности: В1. Существование потенциального спроса на альтернативные способы бурения со стороны буровых компаний; В2. Сокращение времени на спуско-подъемные операции; В3. Исключение вращения буровой колонны, а, следовательно, меньший износ бурильных труб.	1. Удовлетворение потенциального спроса на продукт со стороны развивающихся компаний за счет увеличения скорости бурения, уменьшения износа труб и возможности интеграции в существующие механизмы; 2. Увеличение рейсовой скорости бурения за счет сокращения времени на спуско-подъемные операции.	Вероятность неправильного использования продукта в связи с неправильной наладкой оборудования, а также недостаточной мощностью насосов.
Угрозы: У1. Отсутствие спроса на оптимизированную конструкцию; У2. Развитая конкуренция иных способов бурения.	1. Невозможность интегрировать продукт в существующие механизмы вследствие консервативных взглядов компаний; 2. Жесткая конкуренция на рынке в связи с подавляющим использованием традиционных методов бурения скважин.	1. Простои в связи со сменой способа бурения; 2. Незаинтересованность компаний в покупке и замене насосов.

6.2. Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Первым делом необходимо произвести планирование комплекса предполагаемых работ, который выполняется в следующем порядке:

- Определение структуры работы, в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работы;
- построение графика проведения научных исследований.

Следует отметить, что для каждого вида запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В настоящем разделе необходимо составить список этапов, а также работ, входящих в рамки проведения научного исследования и произвести распределение исполнителей по категориям работ.

Ознакомиться с порядком составления этапов и работ, а также с распределением исполнителей по видам работ, можно в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта; исполнитель.
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	3	Проведение патентных исследований	Исполнитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель проекта; исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель проекта
	6	Построение и расчет компьютерной модели конструкции шароструйно-эжекторного бурового снаряда	Исполнитель проекта
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка результатов исследования	Руководитель проекта; исполнитель
Оформления отчета по исследовательской работе	9	Составление пояснительной записки	Руководитель проекта; исполнитель

Определение трудоемкости выполнения работ

Основная часть стоимости разработки в большинстве случаев складывается из трудовых затрат, таким образом определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования является важным моментом.

Трудоемкость выполнения научного исследования производится с помощью экспертной оценки, измеряется в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используют формулу 43:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (43)$$

где $t_{ожі}$ – Ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.; $t_{\min i}$ – Минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; $t_{\max i}$ – Максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (44)$$

где T_{pi} – Продолжительность одной работы, раб. дн.; $t_{ожі}$ – Ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.; $Ч_i$ – Численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме исследования представляются в виде протяженных во времени отрезков, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ необходимо перевести и рабочих дней в календарные. Для этого воспользуемся формулой 45:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (45)$$

где T_{ki} – Продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – Продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – Коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле 46:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (46)$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году; $T_{\text{вых}} = 52$ – количество выходных дней в году; $T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22$$

Все рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округлим до целого числа.

В таблице 7 приведен свод рассчитанных значений временных показателей.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работы			Исполнители	Длительн. работ в раб. днях, T_{pi}	Длительн. работ в кален. днях, T_{ki}
	t_{\min} , Чел-дни	t_{\max} , Чел-дни	$t_{\text{ож}}$, Чел-дни			
Составление и утверждение технического задания	2	5	3	Руководитель проекта; исполнитель	3	4

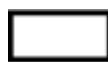
Подбор и изучение материалов по теме	10	14	13	Исполнитель	14	17
Проведение патентных исследований	3	5	3,8	Исполнитель	5	6
Выбор направления исследований	5	8	8,2	Руководитель проекта; исполнитель	4	5
Календарное планирование работ по теме	1	3	1,5	Руководитель проекта; исполнитель	1	2
Проведение теоретических расчетов и обоснований	10	16	11	Исполнитель	12	15
Построение и расчет компьютерной модели конструкции шароструйно-эжекторного бурового снаряда	14	28	16	Исполнитель	17	21
Оценка результатов исследования	7	9	6,5	Руководитель проекта; исполнитель	4	5
Составление пояснительной записки	8	15	10	Руководитель проекта; исполнитель	7	9

Опираясь на данные таблицы 7 строим план график, представленный в таблице 8.

Таблица 8 – Календарный план график проведения НИР

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал. дни	Продолжительность выполнения работ										
				Фев.		Март			Апрель			Май		
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель; Исполнитель	5	<div></div>										
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	20	<div></div>										
3	Проведение патентных исследований	Исполнитель.	6			<div></div>								
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель; Исполнитель	6				<div></div>							
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель	15					<div></div>						

6	Построение и расчет компьютерной модели конструкции шароструйно-эжекторного бурового снаряда	Исполнитель	22											
8	Оценка результатов исследования	Руководитель; Исполнитель	6											
9	Составление пояснительной записки	Руководитель; Исполнитель	9											



Руководитель проекта;

Исполнитель проекта.

6.3. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки с имеющимися аналогами и определить направления для ее будущего совершенствования. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реально оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики разработки;
- конкурентоспособность разработки;
- бюджет разработки;
- уровень проникновения на рынок
- финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения.

Таблица 9 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкуренто-способность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Рост производительности труда пользователя	0,11	4	3	2	0,44	0,44	0,22
2. Удобство в эксплуатации	0,09	3	2	2	0,27	0,18	0,18
3. Надежность	0,1	3	3	4	0,3	0,3	0,4
4. Возможность интеграции в существующие механизмы	0,09	4	4	3	0,36	0,36	0,27
6. Простота эксплуатации	0,1	3	3	2	0,3	0,3	0,2
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,09	4	5	2	0,36	0,45	0,18
2. Уровень проникновения на рынок	0,03	2	4	4	0,06	0,12	0,12
3. Цена	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
5. Обслуживание	0,11	3	3	4	0,33	0,33	0,44
6. Финансирование	0,03	4	2	2	0,12	0,06	0,06
Итого	1	39	35	33	3,34	3,08	2,79

Б_ф- Бурение с применением ШЭБС; Б_{к1}– Бурение забойным двигателем с долотом PDC; Б_{к2}- Роторное бурение с долотом PDC.

Проанализировав данную карту, можно сделать вывод, что предлагаемый продукт может составить достойную конкуренцию существующим методам бурения по таким параметрам, как цена, удобство и простота эксплуатации, а также увеличение производительности. Однако для этого необходимо выводить

его на рынок, широко рекламировать и предлагать компаниям, подкрепляя результатами успешных полевых испытаний.

В основном низкая конкурентоспособность объясняется относительной новизной и, как следствие, малой популярностью шароструйного бурения.

6.4. Формирование организационной структуры управления инженерным проектом

Формирование структурной схемы имеет принципиальное значение, поскольку при нем определяются главные характеристики организации, а также направления, по которым должно быть осуществлено более детальное проектирование, как организационной структуры, так и других важнейших аспектов системы (внутри организационного экономического механизма, способов переработки информации, кадрового обеспечения).

Самым распространённым видом структуры иерархического типа является линейно-функциональная (рисунок 46). В основу её построения положены: линейная вертикаль управления и специализация управленческого труда по функциональным подсистемам организации (маркетинг, производство, исследования и разработки, финансы, персонал и др.).

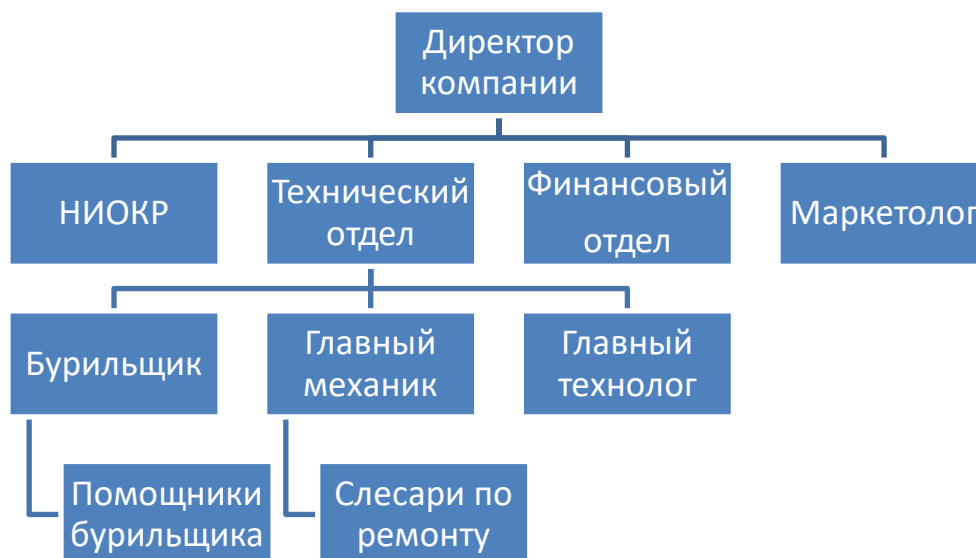


Рисунок 46– Линейно-функциональная структура управления

6.5. Составление бюджета разработки и внедрения инженерных решений

Расчет фонда заработной платы персонала проводится ниже. Результаты данного расчета понадобятся для определения калькуляции себестоимости модернизации буровой установки, приведенной в таблице 10.

Таблица 10 - Расчет фонда заработной платы персонала

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы , руб.
Супервайзер	49 000	1 750	10	3,24	56 700
Бурильщик	45 000	1 607,14	10	3,24	52 072
Помощник бурильщика	41 000	1 464,3	10	3,24	47 443
Слесарь	37 000	1 321,43	10	3,24	42 814
Дизелист	32 000	1 142,85	10	3,24	37 029
Итого:					236 058

Таблица 11 - Калькуляция себестоимости продукции

Наименование статей расхода	Ед. изм.	Сумма, руб.
Топливо на технологические цели	л.	100 000
Энергия всех видов на технологические цели	кВт	165 000
Заработная плата рабочих	руб.	179 358
Изготовление ШЭБС	руб.	300 000
Закупка полного комплекта шаров	руб.	150 000
Закупка бурового насоса УНБТ-950+привод	руб.	9 000 000
Доставка нового оборудования на месторождение	руб.	150 000
Заработная плата ИТР	руб.	56 700
Общепроизводственные расходы	руб.	10 000
Итого	руб.	10 111 058

6.6. Проведение анализа безубыточности инженерного проекта

Так как шароструйное бурение применимо только для твердых и крепких горных пород, проведем сравнительный анализ с бурением в крепких горных породах долотами PDC, стоимость которых достигает 1,5 млн. рублей, а проходка на долото до 14 тыс. м.

Предположим, что необходимо пробурить эксплуатационную скважину глубиной 4 500 м, для которой характерна большая проходка и скорость бурения. Время бурения данной скважины составляет приблизительно 40 суток. Также допустим, что при бурении обычным способом применялись два насоса УНБ 600. В связи с повышенным расходом бурового раствора при шароструйном бурении, один из насосов, подающий раствор в скважину необходимо будет заменить на насос УНБТ 950 с более высокими показателями.

Результаты, полученные А. Б. Уваковым [57] в ходе лабораторных и полевых исследований данного способа бурения, показали возможность достижения высоких механических скоростей бурения (до 20 м/час в крепких горных породах), а результаты работы С.А. Заурбекова показали превышение механической скорости на 20% и проходки на долото на 43% по сравнению с серийными долотами при бурении пород средней твердости.

Как известно, затраты времени на спуско-подъемные операции составляют 30-40% от общих затрат времени на бурение. Применение ШЭБС с улавливающе-подпитывающим устройством позволяет снизить временные затраты на спуско-подъемные операции на 10-15%.

Из сведений сервисных компаний возьмем среднюю стоимость бурения скважин глубиной 3 500-5 000 м равной 90 млн. руб.

Главный положительный эффект применения предлагаемой модернизации конструкции – это снижение времени на бурение, а следовательно уменьшение затрат. Временные затраты из общей суммы составляют 20 млн. руб.

Таблица 12 - Исходные данные

Глубина скважины, м	L=4 500
Продолжительность бурения до оптимизации, дни	$t_{общ}^0$
Продолжительность бурения после оптимизации, дни	$t_{общ}$
Время на спуско-подъемные операции до оптимизации, дни	$t_{СПО}^0$
Время на спуско-подъемные операции после оптимизации	$t_{СПО}$
Время на бурение операции до оптимизации, дни	$t_{бур}^0$
Время на бурение операции после оптимизации, дни	$t_{бур}$
Скорость бурения до оптимизации, м/день	V_0
Скорость бурения после оптимизации, м/день	V
Стоимость бурения скважины, млн. руб.	$C = 90$
Удельные капиталовложения в оптимизации буровой, руб.	K

Из экспериментальных данных по формуле 47 найдем время затрачиваемое на СПО:

$$t_{СПО}^0 = 0,35 \cdot t_{общ}^0 = 0,35 \cdot 40 = 14 \text{ дней}, \quad (47)$$

Значит время затрачиваемое на СПО после оптимизации конструкции найдем по формуле 48:

$$t_{СПО} = 0,3 \cdot t_{общ}^0 = 12 \text{ дней} \quad (48)$$

По формуле 49, найдем скорость бурения после модернизации конструкции:

$$V = 1,1 \cdot V_0 \quad (49)$$

Следовательно, время бурения после оптимизации конструкции найдем по формуле 50:

$$t_{бур} = \frac{t_{бур}^0}{1,1} = \frac{t_{СПО}^0 - t_{общ}^0}{1,1} = \frac{40 - 14}{1,1} = 23,63 \text{ дней}. \quad (50)$$

Таким образом, общее время бурения после оптимизации конструкции найдем по формуле 51:

$$t_{общ} = t_{СПО} + t_{бур} = 12 + 23,63 = 35,63 \approx 36 \text{ дней}. \quad (51)$$

Экономии времени, найдем по формуле 52:

$$\Delta t = t_{\text{общ}} - t_{\text{общ}}^0 = 40 - 36 = 4 \text{ дня.} \quad (52)$$

Для того, что выразить сэкономленное время в денежном эквиваленте, по формуле 49 определим стоимость одного дня бурения:

$$C_{1 \text{ дня}} = \frac{20\,000\,000}{40} = 500\,000 \text{ руб.} \quad (53)$$

Общую экономию при сокращении буровых работ на 4 дня определим по формуле 54:

$$\Delta C = 4 \cdot 500\,000 = 2\,000\,000 \text{ руб.} \quad (54)$$

Следовательно, за год экономия составит около 20 млн.руб.

Стоит отметить, что расчет ведется на одну буровую установку. Персонал такой буровой установки бурит за год в среднем 10 скважин.

Проходка на шароструйное долото составляет примерно 10 000 м, а следовательно, при бурении эксплуатационных скважин глубиной до 5 000 м требуется заменять долото и сопутствующие материалы, в то время как насос УНБТ 950 имеет гораздо больший срок службы и относится к постоянным затратам. Таким образом, с графиком срока окупаемости оптимизированной конструкции можно ознакомиться на рисунке 47:

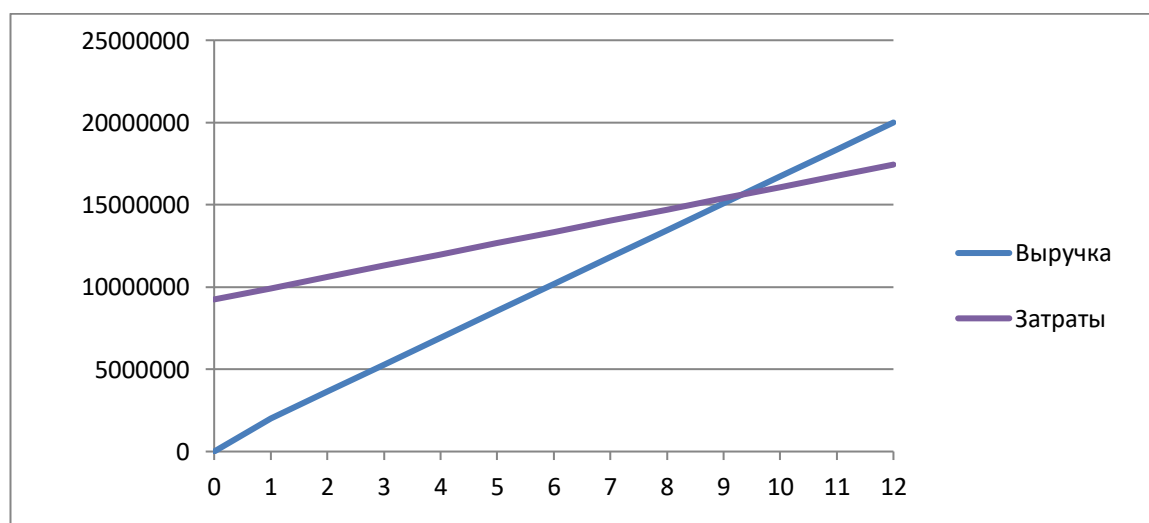


Рисунок 47 – График срока окупаемости оптимизированной конструкции

Из графика видно, что срок окупаемости оптимизированной конструкции составит 9,5 месяцев.

6.7. Оценка эффективности инженерных решений

Оценка экономических результатов инновационного проекта производится на основании годовых показателей, рассчитанных по годам длительности жизненного цикла реализации проекта.

ЧДД – по международной терминологии NPV – или интегральный эффект определим по формуле 55:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - S_t) \frac{1}{(1 + n)^t}, \quad (55)$$

где S_t – затраты, осуществляемые на том же шаге; T – горизонт расчета, равный номеру шага расчета, на котором производится ликвидация объекта, т.е. последнему году жизненного цикла проекта; n – норма дисконта. R_t – результаты, достигнутые на t -шаге расчета, определяются по формуле 56:

$$R_t = \Pi_p + A, \quad (56)$$

где Π_p – чистая прибыль; A – амортизационные отчисления.

На практике пользуются модифицированной формулой для определения ЧДД. Для этого из состава затрат S_t исключают капиталовложения и обозначают K_t – капиталовложения в год t . Сумма дисконтированных капиталовложений вычисляется по формуле 57:

$$K = \sum_{t=0}^T K_t (1 + n)^{-t}, \quad (57)$$

где t – год вложения средств.

Тогда:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{\Pi_{p_t} + A_t}{(1 + n)^t} - \sum_{t=0}^T K_t (1 + n)^{-t}. \quad (58)$$

Если $\text{ЧДД} > 0$, то проект является эффективным (при данной норме дисконта). Чем больше ЧДД, тем проект эффективнее.

Капиталовложения в первый год были определены при калькуляции себестоимости и составляют:

$$K_t = 10\,111\,058 \text{ руб.}$$

Тогда:

$$\text{ЧДД} = \frac{20\,000\,000}{(1 + 0,1)^1} - \frac{10\,111\,058}{(1 + 0,1)^1} = 16\,528\,926 - 8\,356\,246 = 8\,172\,680 \text{ руб.}$$

Стоит отметить, что $\text{ЧДД} > 0$, следовательно, проект является эффективным.

6.8. Анализ потенциальных рисков и разработка мер по управлению ими

Под проектными рисками понимается, как правило, предполагаемое ухудшение итоговых показателей эффективности проекта, возникающее под влиянием неопределенности. В количественном выражении риск обычно определяется как изменение численных показателей проекта: чистой приведенной стоимости (ЧДД), внутренней нормы доходности (ВНД) и срока окупаемости.

Результатом качественного анализа рисков является описание неопределенностей, присущих проекту, причин, которые их вызывают, и, как результат, рисков проекта.

В результате будет сформирован перечень рисков, которым подвержен проект. Далее их необходимо проранжировать по степени важности и величине возможных потерь.

Действия по снижению проектного риска ведутся в двух направлениях: избежание появления возможных рисков и снижение воздействия риска.

Полностью избежать риска практически невозможно, но снизить их угрозу руководитель способен, уменьшая действие неблагоприятных факторов. Необходимо в этом разделе составить перечень простых рисков, а также мероприятия по их снижению.

Таблица 13 – Риски и меры по ограничению их последствий

Виды рисков	Меры по ограничению последствий рисков
<ul style="list-style-type: none"> • Изменения законодательства; • Рост налогов. 	<ul style="list-style-type: none"> • Изучение изменений в российском законодательстве.
<ul style="list-style-type: none"> • Появление альтернативного продукта. 	<ul style="list-style-type: none"> • Систематическое изучение конъюнктуры рынка; • Активные маркетинговые действия.
<ul style="list-style-type: none"> • Снижение платежеспособности потребителей; • Инфляция; • Рост цен на ресурсы. 	<ul style="list-style-type: none"> • Создание резерва для покрытия непредвиденных расходов; • Расширение состава поставщиков.
<ul style="list-style-type: none"> • Непредвиденные обстоятельства (аварии, стихийные бедствия, политическая нестабильность). 	<ul style="list-style-type: none"> • Страхование имущества и транспортных перевозок.
<ul style="list-style-type: none"> • Небрежность и недобросовестность работников. 	<ul style="list-style-type: none"> • Определение мер воздействия к неисполнительным работникам.
<ul style="list-style-type: none"> • Нарушение технологии или освоение новой технологии. 	<ul style="list-style-type: none"> • Обучение персонала работе на новом технологическом оборудовании.

Вывод

Результаты данного раздела подтверждают целесообразность внедрения оптимизированной конструкции шароструйно-эжекторного бурового снаряда. SWOT-анализ показал, что шароструйное бурение обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционным бурением.

Эффективность проекта также подтверждается положительным ЧДД. А срок окупаемости в 9,5 месяцев доказывает высокую степень экономичности при значительной себестоимости.

Анализ конкурентных технических решений позволил выявить, что шароструйный способ бурения мало применяем ввиду его относительной новизны.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ74	Куренков Александр Павлович

Школа	ИШПР	Отделение школы	Нефтегазового дела
Уровень образования	Магистратура	Направление	21.04.01. «Нефтегазовое дело» профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов».

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
<p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения) – опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы) – негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу) – чрезвычайных ситуаций 	<p>Рабочие место – буровая установка, пульт управления буровым снарядом. Бурильщик следит за работой бурового снаряда с помощью приборов расположенных на пульте управления.</p> <p>Вредные факторы: шум; электромагнитное излучение.</p> <p>Опасные факторы: опасность поражения электрическим током; пожароопасность</p>
<p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.</p> <p>ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.</p> <p>ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</p> <p>ГОСТ Р МЭК 61140-2000 Защита от поражения электрическим током.</p> <p>ГОСТ 12.2.062-81 Оборудование производственное. Ограждения защитные.</p> <p>ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.</p> <p>ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения</p> <p>СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.</p>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства) 	<p>Проанализировать вредные факторы, влияющие на человека, возникающие при работе на производстве:</p> <p>Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны, повышенная температура воздуха в рабочей зоне, недостаточная освещенность рабочей зоны, вибрации, шумы.</p>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения) 	<p>Проанализировать опасные факторы, влияющие на человека, возникающие при работе на производстве:</p> <p>Химические вещества раздражающего и токсического действия, электрический ток.</p>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны; – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду, а также необходимые мероприятия по защите окружающей среды.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий 	<p>Существует возможность возникновения пожара на рабочем месте.</p> <p>Привести обоснование рекомендуемых мероприятий по предотвращению пожара, и разработать порядок действий при его возникновении.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны 	<p>Представить требования, предъявляемые к сотрудникам перед допуском к работе, а также рекомендации для комфортной работы.</p>

Перечень графического материала:	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	07.03.2019 г.
---	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Черемискина Мария Сергеевна			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Куренков Александр Павлович		

7. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

В данной магистерской диссертации была разработана компоновка низа бурильной колонны для шароструйно-эжекторного бурового снаряда, благодаря которому происходит разрушение твердых и крепких горных пород при бурении скважин. В связи с этим данный раздел посвящен анализу возможных опасных и вредных факторов при работе на буровой установке.

В качестве персонала рассматривается бурильщик. Рабочим местом бурильщика является пульт управления.

Работу выполняет в основном стоя. Следит за приборами на пульте управления. Регламентированные перерывы – 3% от рабочего времени.

В его обязанности входит участие в подготовительных работах к пуску буровой, руководство работами по приготовлению и химической обработке промывочной жидкости, подготовка скважин к геофизическим работам, принятие первоначальных мер по ликвидации аварий и осложнений, проверка состояния противовыбросовой арматуры, подготовка и выполнение работ по креплению скважины, выполнение всех работ, связанных с опробованием скважины.

Основной целью раздела является рассмотрение оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

7.1. Производственная безопасность

Для идентификации потенциальных опасных и вредных факторов необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлены таблице 14.

Таблица 14 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1. Превышение уровня шума		+	+	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.. СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.
2. Метеоро – логические условия		+	+	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений".
3. Электро – магнитное излучение	+	+	+	ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности
4. Вредные химические вещества			+	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

Производственный шум

При работе со скважиной кроме химических веществ, вредное влияние также оказывает производственный шум. В таблице 15 приведены допустимые уровни звукового давления. Для смягчения пагубного влияния звука высоким уровнем давления на слуховой аппарат человека, рекомендуется применять звукоизолирующие наушники [6].

Таблица 15 – Допустимые уровни звукового давления, дБ

Объект	Рабочее место зона	Уровень звука, дБ	Среднегеометрическая частота октавных полос, Гц							
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Передвижная подъемная установка	Упульты управления	94	91	94	96	90	88	83	75	70
Передвижная подъемная лебедка	В кабине при закрытом окне или двери	113	104	106	106	109	107	102	96	89
Агрегат «Бакинец-3М»	В кабине (подъем)	---	100	89	96	95	96	94	87	80
	на устье	---	---	86	84	85	84	80	78	73

Метеорологические условия

Так, как многие работы на промысле производятся на открытом воздухе, то стоит обратить внимание на метеорологические условия (температура, влажность, ветер и т.д.) и их влияние на рабочих. Метеорологические условия колеблются в зависимости от времени суток и сезона. Суровые метеорологические условия, один из важных факторов получения травм и рабочей неадекватности. Известно, что при высоких температурах человек теряет концентрационные качества. Появляются невнимательность, торопливость и т.д. При низких температурах - наблюдаются физические отклонения (нарушается моторика кистей и всего тела из-за повышенной тепло - потери организма). Ещё один важный фактор влияющий на тепло - отдачу организма - это влажность. При температуре +18С влажность должна быть от 30 до 70%. Если влажность меньше чем 30%, то влажность - низкая. Если же влажность выше 70% то влажность - высокая. Оба этих фактора, являются

губительными для здоровья человека. Сухой воздух увеличивает вывод из организма влаги и плохо влияет на слизистые человека. Влажный воздух мешает испаряться жидкости с кожи и соответственно мешает теплообмену организма, а так же может повлиять на обострение болезней: гипертоническая болезнь, атеросклероз и т.д.

При работе на открытом воздухе правилами безопасности предусмотрены мероприятия по защите рабочих от воздействия неблагоприятных метеорологических факторов: снабжение рабочих спецодеждой и спец обувью; устройство укрытий, зонтов над рабочими местами, помещений для обогрева рабочих (культ будки) и т.д.

Во время сильных морозов, ветров, ливней, всякие работы запрещаются. К числу мероприятий по улучшению условий труда при работе на открытом воздухе относится также создание микроклимата на рабочих местах с помощью соответствующих агрегатов и устройств.

Электромагнитное излучение

Электромагнитное поле сверхвысоких напряжений может пагубно повлиять на здоровье человека. Статистика медицинских учреждений гласит о том, что рабочие, которые находятся рядом с высоким напряжением из-за влияния электромагнитного поля в промышленных частотах подвержены повышенной утомляемостью, проблемами с артериальным давлением и изменениям частоты сердечных сокращений, а так же болям в сердце [6]. Ниже приведены разрешимые уровни электромагнитного поля:

- предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭП устанавливается равным 25кВ/м.;
- пребывание в ЭП напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты недопускается;
- пребывание в ЭП напряженностью до 5 кВ/м включительно допускается в течение рабочего дня;
- при напряженности ЭП свыше 20 до 25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП не должно превышать 10мин.

В качестве средств индивидуальной защиты применяется спецодежда.

Вредные вещества

Для уменьшения опасности вредных веществ, для человека ограничивают применение их по числу и объему, а где возможно, заменяют высокотоксичные на менее токсичные, сокращают длительность пребывания людей в загрязненном воздухе и следят за эффективным проветриванием производственных помещений. В особо опасных условиях применяют следующие индивидуальные средства защиты: фильтрующие противопылевые средства защиты, газо- пылезащитные средства, шланговые противогазы ПШ-1, изолирующие кислород приборы (КИП), автономные дыхательные аппараты, очки, маски, светофильтры, противопылевые комбинезоны, перчатки ит.д.

Буровые растворы готовятся непосредственно на буровой. Загрязняющая способность буровых растворов зависит, прежде всего, от количества и токсикологической характеристики химических реагентов применяемых для их обработки.

Предельно допустимые концентрации некоторых химических реагентов регламентируются для воздуха рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88, таблица 16.

Таблица 16 – Предельно допустимые концентрации химических реагентов в воздухе рабочей зоны

Наименование реагентов	Цемент	ОП ₇ (ПАВ)	Нефть	КМЦ	Глино- порошок	Асбест	Сода Na ₂ CO ₃
ПДК, мг/м ³	6,0	3,0	10	10	4	6	2
Класс опасности	4	4	3	3	4	4	3

Практически все химические реагенты доставляются на буровую в сухом виде. Затаривание в емкость глиномешалки производится через верхний люк, при этом часть химических реагентов остается в воздухе и рабочие, производящие эту операцию, дышат этим воздухом. Как следствие, у рабочих могут развиваться некоторые виды болезней.

Таблица 17 – Спецдежда, спецобувь и средства индивидуальной защиты

Наименование	ГОСТ, ОСТ, ТУ на изготовление	Количество, шт
Костюм брезентовый или х/б с водоотталкивающей пропиткой	ГОСТ 27651-88 ГОСТ 5394-89	На каждого члена бригады
Сапоги кирзовые	ГОСТ 12.4.010-75	
Рукавицы брезентовые	ГОСТ29335-92	
Костюм зимний Валенки	ГОСТ18724-88	
Расператор типа «Лепесток» Предохранительный пояс верхового Монтажные когти и пояс	ГОСТ12.4.028-76	2
Сумка брезентовая для инструмента, для работы на высоте		2
Виброгасящие коврики под ноги у пульта бурильщика иАКБ-3М	ГОСТ 26568-85	1
Щиток-маска эл/сварщика	ГОСТ12.4.023-84	6
Очки открытые (ОЗО)	ГОСТ12.4.013-85	2
Очки закрытые (ОЗЗ)	ГОСТ12.4.013-85	5
Подставка диэлектрическая.	ГОСТ 4997-75	1
Спецдежда для работы с кислотами и реагентами	ГОСТ27652-88	1
Аптечка медицинская первой помощи	ГОСТ23267-78	1

7.2. Анализ опасных производственных факторов и обоснование мероприятий по их устранению

При работе могут быть выявлены следующие проявления опасных факторов:

- Электробезопасность;
- пожаробезопасность.

Электробезопасность

При проектировании рабочего места учитываются все возможные риски при использовании электроэнергии и применяются методы избегания опасностей. Электрические датчики систем контроля и управления технологическим процессом должны быть во взрывозащищенном исполнении и

рассчитываться на применение в условиях вибрации, образования газовых гидратов, отложений парафина, солей и других веществ либо устанавливаться в условиях, исключающих прямой контакт с транспортируемой средой.

Электробезопасность на рабочем месте контролируется ГОСТ 12.1.019-79 «Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты», согласно которому во избежание поражения электрическим током следует применять такие технологические приемы, как заземление, зануление, защитное отключение, контроль изоляции. Эти приемы можно отнести к коллективным средствам защиты. К индивидуальным средствам защиты относятся изолирующая одежда (при монтаже токоведущих частей установок) и соблюдения техники безопасности на рабочем месте [31].

Пожаробезопасность

При выполнении работ в нефтегазовом производстве присутствует риск возникновения пожаров. В производстве используются предохранительные клапана, плавкие предохранители в электроцепях и т.п.

При тушения пожара применяют следующие средства:

- охлаждение очага возгорания ниже допустимой температуры;
- разбавление воздуха невозгорающими газами до концентрации кислорода, при котором горение прекращается;
- механическое уничтожение пламени струей газа или жидкости;
- снижение скорости воздействия химической реакции, протекающей в пламени;
- образование условий огнепреграждения, от которых пламя пойдет через узкие проходы.

Первичные средства пожаротушения на промысле: огнетушители, внутренние пожарные краны, пожарный инвентарь (ящики с песком, бочки с водой, пожарные ведра, совковые лопаты, асбестовые полотна, войлок, кошма) и пожарный инструмент (багры, ломы, топоры и др.).

Организационные и организационно-технические процедуры по гарантированию пожарной безопасности должны включать осуществление

контроля и надзора за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности [6].

7.3. Экологическая безопасность

Воздействие на атмосферу

Воздействие нефтяной и газовой промышленности на основные компоненты окружающей среды (воздух, воду, почву, растительный, животный мир и человека) обусловлено токсичностью природных углеводородов, их спутников, большим разнообразием химических веществ, используемых в технологических процессах, а также все возрастающим объемом добычи нефти и газа, их подготовки, транспортировки, хранения, переработки и широкого разнообразного использования.

При бурении нефтяных скважин в окружающую среду поступает большое количество загрязняющих веществ различной степени токсичности, которые оказывают значительный вред всем компонентам окружающей среды [5].

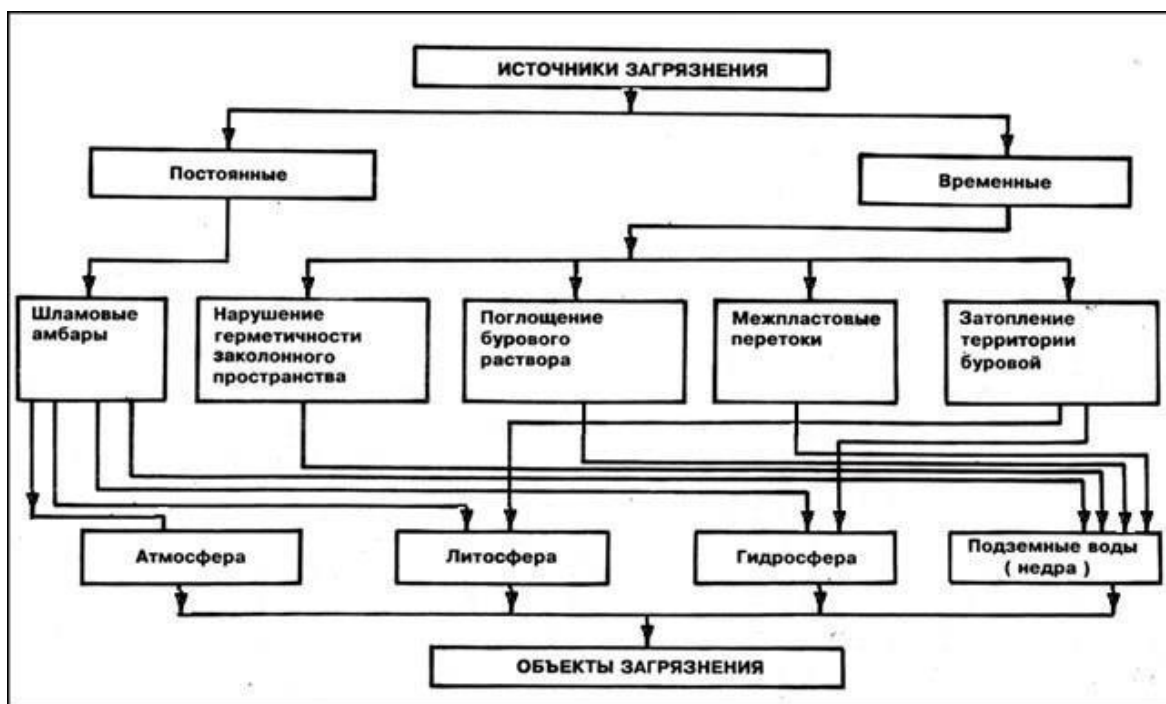


Рисунок 48 – Систематизация источников загрязнения при бурении скважин.

Постоянными источниками загрязнения атмосферы, почвы, подземных и поверхностных вод являются шламовые амбары, которые представляют собой природоохранные сооружения, предназначенные для централизованного сбора,

обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов бурения нефтяных скважин.

К основным загрязнителям сточных вод относятся буровые растворы (особо опасны на нефтяной основе), химические реагенты, а также диспергированные глины, выбуренные породы, утяжелители (механическая примесь), смазочные масла, буровой шлам, содержащий все химические соединения, используемые при приготовлении буровых растворов.

Причины опасного загрязнения растворами водоемов (особенно при наличии земляных амбаров) связаны с переливами и выбросами бурящихся скважин, избыточного раствора, образующегося при разбурировании глинистых пород, сбросом растворов в овраги и водоемы, перетоками их по поглощающим горизонтам (пластам) и др.

Загрязнение территории вокруг буровой можно значительно снизить удалением выбуренной породы (шламоочистными сооружениями). Для очистки растворов можно эффективно использовать вибрационные сита, гидроциклонные пескоотделители, шламоочистители, гидроциклонные установки и центрифуги.

На участках, выделенных для размещения буровых установок, плодородный слой земли снимают и складировуют.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды горюче – смазочными материалами дизельное топливо и другие, горюче – смазочные вещества, необходимые для работы буровой установки, хранят в специальных емкостях.

При строительстве скважин загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами происходит на всех этапах строительства.

Специфика строительства нефтяных и газовых скважин характеризуется, в основном, неорганизованными выбросами вредных веществ в атмосферу, рассредоточивающимися на значительной территории.

Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу от неорганизованных источников обеспечивается герметизацией циркуляционной системы бурового

раствора при безамбарном бурении, герметизацией емкостей блока приготовления БР, системы сбора и очистки буровых вод, устья скважины, системы приема и замера пластовых флюидов, поступающих при испытании скважины.

Защита селитебной зоны

Селитебная зона – это часть территории населенного пункта, занятая жилыми зданиями [5].

Расположение производственной территории относительно селитебной:

- При проектировании зоны необходимо обеспечить защиту селитебной территории от загрязнения промышленными газами, отходами, сточными водами;

- промышленные предприятия должны быть удалены от селитебной территории на расстояние, соответствующее степени вредности предприятия;

в соответствии с Санитарными Нормами 245-71, в зависимости от вида производства, выделяемых вредных выбросов и условий технического процесса установлена протяженность санитарно-защитной зоны.

Территория санитарно-защитной зоны должна быть благоустроена и озеленена по проекту благоустройства, разрабатываемому одновременно с проектом строительства или реконструкции предприятия.

С целью уменьшения загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами, выделяемыми стационарными источниками: котельной, двигателями внутреннего сгорания буровых установок, факельными блоками размещение их осуществляется с учетом господствующего направления ветра.

7.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Пожары

Опасность пожаров и взрывов на производственных объектах нефтегазодобывающей промышленности характерна для всех технологических процессов начиная от добычи нефти, газа или конденсата и заканчивая их переработкой. По взрыво- и пожароопасности объекты нефтяной и газовой промышленности относятся к категории «А».

Причины взрывов и пожаров могут быть различны:

- пропуски дизельного топлива, разливы нефтепродуктов и горючих веществ;
- нарушение герметичности выхлопных коллекторов двигателей, неисправность искрогасителей;
- применение открытого огня, курение, проведение сварочных работ вблизи мест хранения нефти, горюче-смазочных материалов, сгораемых конструкций и горючих веществ;
- неисправности электрооборудования, вызывающие искрение, короткое замыкание, нагрев проводов;
- перегрузка электрических приборов, оборудования.

Буровая установка должна быть оборудована следующими средствами пожаротушения:

- двумя пожарными стояками диаметром 50-60мм;
- тремя пожарными рукавами и двумя переводниками диаметром 50-60мм;
- огнетушителями ОХП-10 в количестве 6шт, ящиками с песком емкостью 0,5м³ (4шт), пожарными щитами, оборудованными лопатами, ломом, топорами, баграми, ведрами [33].

Открытые фонтаны

Этот вид аварий встречается повсеместно, причем особенно часто при проводке скважин на новых месторождениях нефти и газа.

Основные причины, по которым возникают открытые фонтаны:

- не соответствующая геологическим условиям конструкция скважин;
- некачественное цементирование обсадных колонн, что приводит к прорывам газа при выбросах после закрытия превентора;
- отсутствие противовыбросового оборудования на устье скважин при вскрытии продуктивных горизонтов, а также несоответствие его параметров условиям бурения скважин;

- неправильная эксплуатация противовыбросового оборудования;
- неправильный выбор напорных горизонтов, а также плотности промывочной жидкости для бурения скважин после их вскрытия;
- недостаточная промывка скважины при бурении и перед подъемом бурильной колонны;
- рост содержания газа в промывочной жидкости в процессе бурения (плохая дегазация выходящей из скважины промывочной жидкости).

Основными мероприятиями по предотвращению и ликвидации аварий являются: проверка состояния противовыбросового оборудования; наличие средств и материалов по борьбе с нефтегазопроявлениями; обучение буровой бригады.

Вскрытие продуктивного пласта запрещается при отсутствии в КНБК клапана – отсекающего, а под ведущей трубой шарового клапана. При снижении плотности бурового раствора во время циркуляции за счет насыщения раствора пластовым флюидом принимаются незамедлительные меры к усилению промывки скважины, дегазации бурового раствора и к доведению его параметров до технологической необходимости. Важным профмероприятием для предупреждения открытого фонтанирования является практическая подготовка буровой бригады. Бурильщики его помощники обязаны знать условия проводки скважины и глубину залегания пласта [5].

Порывы, разливы нефти

Ликвидация разливов нефти и подтоварной воды производится в следующей последовательности: тщательный осмотр места аварии, для определения объемов, характера и порядка необходимых работ; доставка технических средств к месту разлива нефти; локализация нефтяного загрязнения, включающая в себя оконтуривание нефтяного загрязнения; максимально возможный сбор свободной нефти с рельефа.

Восстановление продуктивности нефтезагрязненных земель, состав и порядок работ:

- 1) первичное обследование нефтезагрязненных участков (отбор проб

почвы (воды), определение границ разлива нефти;

- 2) оценка степени загрязнения почв нефтью;
- 3) выбор соответствующих технологических мероприятий;
- 4) реализация намеченного комплекса работ и текущий контроль за эффективностью выполняемых мероприятий;

По окончании работ проводится сдача рекультивированных участков контролирующим органам.

Помимо ЧС, связанных с работой оборудования, могут возникнуть ЧС другого характера:

- ЧС стихийного характера (землетрясение, наводнение, ураган и др.);
- ЧС экологического характера (деградация почвы, изменение состояния гидросферы, недостаток кислорода, разрушение озонового слоя и др.);
- ЧС социального характера (шантаж, мошенничество, террор, заложничество, суицид, высокий уровень бедности, нехватка продовольствия и др.) [33].

7.5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Любое предприятие должно надлежащим образом исполнять федеральное законодательство и нормативные правовые акты, регулирующие государственное управление в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Работа с вредными или опасными условиями труда

Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:

- сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);
- ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с

возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);

- повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).

Работа в ночное время

По общему правилу трудовая деятельность должна осуществляться днем, когда организм человека находится на пике активности. Именно в этот период труд наиболее производителен и безопасен для окружающих и самого работника. Но в современных условиях ограничиться только дневной работой невозможно. По самым разным причинам возникает необходимость привлекать сотрудников к выполнению их обязанностей в ночное время. Эта работа связана с неблагоприятным воздействием на организм человека, и законом таким работникам гарантируется щадящий режим и повышенная оплата труда [33].

Применение спецодежды и СИЗ

Основной регламентирующий документ о применении СИЗ и спецодежды это ТК РФ. Он вносит определение спецодежды как таковой, средств индивидуальной и коллективной защиты, определение вредных и опасных производственных факторов.

Применение спецпитания и особого лечебно-профилактического обслуживания.

Лечебно-профилактическое питание - это специально подобранные рационы питания, способствующие предупреждению нарушения обмена веществ под действием вредных профессиональных факторов.

В рацион рабочих вредных профессий включаются пищевые вещества:

- ускоряющие или замедляющие превращение в организме токсичных веществ или продуктов их метаболизма;
- ускоряющие выведение токсичного вещества из организма;
- тормозящие процессы всасывания токсичного вещества в кишечнике.

Надзор за охраной труда

Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием охраны труда является Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда субъектов Российской Федерации. Эта система осуществляет надзор и контроль за соблюдением российского законодательства о труде и охране труда, нормативных актов о возмещении вреда, причиненного здоровью работника, о социальном страховании и выполнении коллективных договоров на предприятиях, в учреждениях и организациях независимо от формы собственности.

Вывод

Таким образом, при производственном использовании оптимизированной конструкции компоновки низа бурильной колонны для шароструйно-эжекторного бурового снаряда происходит возможность возникновения вредных, а также опасных факторов, таких как: повышенный уровень шума; электромагнитное излучение; возможность интоксикации вредными химическими веществами. В целях безопасности, необходимо пользоваться средствами индивидуальной защиты (СИЗ), а также использовать предупредительные плакаты и знаки безопасности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации был выполнен обзор и анализ ранее полученных результатов исследования шароструйно-эжекторного способа разрушения твердых и крепких горных пород, который показал необходимость в оптимизации существующей конструкции компоновки низа бурильной колонны для шароструйно-эжекторного бурового снаряда.

Результаты диссертационного исследования:

- разработка конструкции съемной сопловой насадки;
- описание принципа работы съемной сопловой насадки;
- расчёт геометрических и технологических параметров бурения шароструйно-эжекторного бурового снаряда для скважины диаметром 215,9 мм.;
- разработка сборочных чертежей: компоновки низа бурильной колонны и съемной сопловой насадки с учётом результатов расчёта геометрических и технологических параметров бурения;
- построение компьютерной модели по результатам разработанных сборочных чертежей в программном комплексе SolidWorks;
- расчёт построенной компьютерной модели в программном комплексе ANSYS.

Разработанная конструкция съемной сопловой насадки позволяет производить смену отработанной рейсовой порции породоразрушающих шаров на новую, без подъема всей бурильной колонны.

Следует отметить, что данная работа, как и всякая из числа подобных, не лишена упущений и недостатков, и безусловно не претендует на исчерпывающее освещение всех вопросов, связанных с шароструйным способом бурения твердых и крепких горных пород. В целях дальнейшего повышения эффективности шароструйного бурения, а также внедрения его в практику буровых работ необходимо продолжать углубленное исследование данного метода и проведение различных экспериментов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абразивное гидромониторное бурение // Экспресс-информ., Сер. Нефтяная и газодобывающая промышленность. – М.: ВИНТИ, 1972. – №13. – С. 10–24.
2. Абразивно-механическое ударное бурение скважин: монография / А.Н. Давиденко, А.А. Игнатов; М-во образования и науки Украины, Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2013. – 110с.
3. Алиев Ф. Р. Исследование износа шароструйно-эжекторного долота, разработка способов его предупреждений // Творчество юных – шаг в успешное будущее: Материалы VII Всероссийской научной студенческой конференции с элементами научной школы имени профессора М.К. Коровина. – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С.316–320.
4. Арбит В. С. Исследование и разработка методики расчета эжекторных буровых устройств с целью создания эффективных технических средств для бурения и освоения скважин: дис. канд. техн. наук. – Томск, 1974. – 204 с.
5. Булатов Н.А. Охрана окружающей среды. М.: Недра, 1990.
6. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. - 5-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с.
7. Бинхгем М.Г. Новое в буримости горных пород. – М.: Недра, 1965. – 56 с.
8. Бинхгем М.Г. Проблема буримости горных пород. // Сер. Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1968. – 67 с.
9. Влияние типа породы на эффективность гидромониторного бурения // Экспресс-информ., Сер. Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1977. – №6. – С.3–6.
10. Воздвиженский Б.И. Буровая механика / Б.И. Воздвиженский, М.Г. Васильев. – издание 3-е испр. и доп. – М.: Госгеолтехиздат, 1954. – 493 с.
11. Ганджумян Р.А., Калинин А.Г., Никитин Б.А. Инженерные

расчеты при бурении глубоких скважин. – М.: Недра, 2000. – 429с.

12. ГН 2.2.5.3532–18. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны

13. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

14. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

15. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

16. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация.

17. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.

18. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ. Средства защиты работающих. Общие требования и классификация.

19. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.

20. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения

21. ГОСТ 12.1.006–84.ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля (до 01. 01. 96). 32.Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от03.07.2016) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2017).

22. Давиденко А.Н. Абразивно-механическое ударное бурение скважин: монография / А.Н. Давиденко, А.А. Игнатов; М-во образования и науки Украины, Нац. Горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2013. – 110с.

23. Давиденко А.Н., Игнатов А.А., Вяткин С.С. Некоторые вопросы гидромеханического способа бурения // Наук. праці ДонНТУ. Серія Гірничо-геологічна. – 2011. – № 14(181) – С.75–78.

24. Давыдов, Борис Ильич. Биологическое действие, нормирование и защита от электромагнитных излучений / Б. И. Давыдов, В. С. Тихончук, В. В.

Антипов. — Москва: Энергоатомиздат, 1984. — 177 с.: ил.: 21 см.

25. Жуков, Виктор Ильич. Защита и безопасность в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие / В. И. Жуков, Л. Н. Горбунова; Сибирский федеральный университет (СФУ). — Москва; Красноярск: Инфра-М Изд-во СФУ, 2014. — 392 с.: ил. — Высшее образование. Бакалавриат. — Библиогр.: с. 384-387.

26. Заурбеков С.А. Повышение эффективности призабойных гидродинамических процессов при шароструйном бурении скважин: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. — Алматы, 1995.— 18 с.

27. Игнатов А.А., Вяткин С.С. Особенности конструкции и механики работы нового гидродинамического снаряда // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – 2011. – Вып. 14. – С.58–61.

28. Исаев Е.Д. Исследование процессов шароструйного бурения с помощью высокоскоростной видеосъемки // Труды XVIII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С. 401– 405.

29. Исаев Е.Д., Ковалев А.В., Алиев Ф.Р. Экспериментальные исследования технологических параметров режима шароструйного бурения // Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Проблемы научно-технического прогресса в бурении скважин», посвященной 60-летию кафедры бурения скважин. – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С.68–83.

30. Исследование струйного бурения в твердых породах // Экспресс-информ., Сер. Техника и технология буровых и горноразведочных работ. – М.: ВИНТИ, 1977. – №29. – С.1–15.

31. Кирилловский Ю.Л., Подвидз Л.Г. Рабочий процесс и основы расчета струйных насосов // Исследования гидромашин. – М.: ВНИИГидромаш, 1960. – Вып. 26. – С.96–135.

32. Ковалев А.В., Алиев Ф.Р., Горбенко В.М., Якушев Д.А.

Лабораторный стенд для исследования процессов абразивного разрушения горных пород // Труды XVII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2013. – С.263–266.

33. Ковалев А.В., Алиев Ф.Р., Якушев Д.А. История развития шароструйного бурения // Труды XVII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2013 – С.266–268.

34. Ковалев А.В., Рябчиков С.Я., Алиев Ф.Р., Якушев Д.А., Горбенко В.М. Проблемы гидродинамических способов бурения скважин и основные направления для их решения. // Известия Томского политехнического университета. – Томск: Изд. ТПУ, 2015. – Т. 326, №3. – С.6–12.

35. Ковалев А.В., Симон А.А., Яцкив А.А., Исаев Е.Д. Исследование влияния геометрических параметров шароструйно-эжекторных буровых снарядов на эффективность их работы // Труды XVIII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2014. – С. 408– 411.

36. Кожевников А.А., Давиденко А.Н. Гидромеханический и эрозионный способы разрушения горных пород при бурении скважин: Обзорн. информ. // Техн. и технол. геол.-разв. работ, орг. пр-ва. – М.: ВИЭМС, 1987. – 45 с.

37. Козодой А.К., Варламова Е.П. Количественная оценка силового воздействия гидромониторной струи на забой скважины // Совершенствование технологии проводки глубоких скважин в Нижнем Поволжье. – Волгоград, 1975. – Вып. 23. – С.18–26.

38. Куренков А. П. Электромагнитная система забора отработанных шариковых породоразрушающих элементов для шароструйно-эжекторного бурового снаряда : бакалаврская работа / А. П. Куренков ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт природных ресурсов (ИПР), Кафедра теоретической и прикладной механики

(ТПМ) ; науч. рук. М. В. Горбенко. — Томск, 2017.

39. Куцын П.В. Охрана труда в нефтяной и газовой промышленности: Учебник для техникумов.- М.: Недра. 1987. - 247 с.

40. Леджервуд Л.У. Обзор работ по созданию усовершенствованных способов бурения нефтяных скважин (перевод с англ.). – М.: ГОСИНТИ, 1961. – 258с.

41. Мавлютов М.Р. Разрушение горных пород при бурении скважин. – М.: Недра, 1978. – 215 с.

42. Медведев И.Ф., Пуляев А.И. Результаты экспериментального исследования вращательно-ударного бурения скважин малого диаметра в крепких породах. // «Новое оборудование для бурения шпуров и скважин». – М.: Углетехиздат, 1961. – С.35–45.

43. Назаров В.И., Сидорова Т.К. Использование воздействия высоконапорных струй при строительстве скважин: Обзорн. информ. // Бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1985. – 56с.

44. Остроушко И.А. Разрушение горных пород при бурении. – М.: Госгеолиздат, 1952. – 254с.

45. Павлова Н.Н., Шрейнер Л.А. Разрушение горных пород при динамическом нагружении. – М.: Недра, 1964. – 159с.

46. Патент 67845 № u201108906 Україна, МПК Е 21 В 7/18. Кулькоструминний прилад / А.О. Ігнатов, С.С. Вяткин. – Заявл. 15.07.2011; Опубл. 12.03.2012; Бюл. № 5.

47. Патент 102708 № a201107452 Україна, МПК Е 21 В 7/18. Кулеструминний пристрій для буріння свердловин / А.О. Ігнатов, С.С. Вяткин. – Заявл. 14.06.2011; Опубл. 12.08.2013; Бюл. № 15.

48. Патент 81068 № u201212576 Україна, МПК Е 21 В 7/00. Пристрій для буріння / А.О. Ігнатов. – Заявл. 05.11.2012; Опубл. 25.06.2013; Бюл. №12.

49. Патент РФ № 2114274, Е 21 В 7/18. Шароструйный снаряд для бурения скважин / Т.Н. Зубкова – № 96123178/03; Заявлено 05.12.1996; Опубл.27.06.1998.

50. Патент США № 2706104, кл. 255-61. Gravity-momentum recirculation pellet impact drilling bit / Ortloff J.E. – Заявлено 29.01.1952; Оpubл.12.04.1955.
51. Патент США № 2724575, кл. 255-72. Pellet impact core drill / Deily F.H. – Заявлено 10.12.1952; Оpubл.22.11.1955.
52. Разрушение породы струями жидкости // Экспресс-информ., Сер. Техника и технология бурения. – М.: ВИНТИ, 1971. – №6. – С.6–13.
53. Русак О.Н., Малаян К.Р., Занько Н.Г. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп. / Под ред. О.Н. Русака. - Спб.: Издательство «Лань», 2000. - 448 с., ил.
54. Сегель В.А. Эрозионное гидромониторное бурение // Бурение. – 1968. – №5. – С.28–30.
55. Столяров Р.В., Ковалев А.В. Разработка гидромониторного долота эжекторного типа // Труды XII Международного симпозиума студентов и молодых учёных имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – С.518–520.
56. Сулакшин С.С. Современные способы разрушения горных пород при бурении скважин. – М.: Недра, 1964. – 106с.
57. Уваков А.Б. Исследование и разработка шароструйного способа бурения направленных геологоразведочных скважин: дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Москва, 1965. – 120с.
58. Уваков А.Б. Шароструйное бурение. – М.: Недра, 1969. – 207с.
59. Уилли Д. Эрозионное бурение. – М.: ВНИИОЭНГ, 1971. – 24с.
60. Шрейнер Л.А., Павлова Н.Н. Экспериментальные данные по усталостному разрушению горных пород // Тр. института нефти. – М.: изд-во АН СССР, 1958. – Т. 11. – С.46–52.
61. Штрассер В.В. Исследование процессов разрушения горных пород ударами шаров (к теории шароструйного бурения): дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1966. – 217с.

Раздел 1

Literature review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ74	Куренков Александр Павлович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Вольф Эрнст Леонидович	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Бекишева Татьяна Геннадьевна			

1. LITERATURE REVIEW

1.1. The essence of the impact drill method of destruction of solid and strong rocks

In the case of a impact drill method, the energy of a large number of carbide balls suspended in a fluid flow and repeatedly colliding with the bottom of a well at high speed is used to destroy solid and hard rocks. The fluid flow with suspended balls is driven by a ball-jet ejector.

The schematic diagram of the construction of the impact drill apparatus is shown in Figure 1.

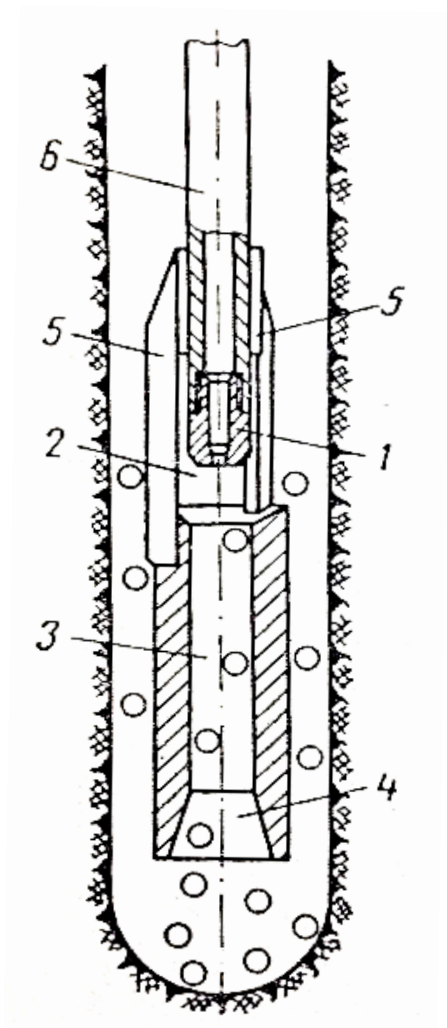


Figure 1 - Schematic diagram of the design of the impact drill apparatus.

The main elements of the apparatus: 1 - working nozzle; 2 - vacuum chamber; 3 - mixing chamber; 4 - diffuser; 5 - retaining ribs; 6 - pipe.

To drill using the device shown in Figure 1, it is necessary to cover the bottom portion of steel rock-cutting balls at the bottom of a well. Turn on the mud pump and feed the estimated amount of flushing (working) fluid through the drill pipe.

When pumping through drill pipes, the flushing fluid, leaving the *working nozzle* 1 at a higher speed, creates a vacuum, as a result an additional suction (injection) of the flushing fluid from the annulus into the *mixing chamber* 3 occurs.

The fluid pumped through the nozzle is called the working fluid, and the fluid drawn is an injected fluid [57]. Both streams of these liquids are mixed in the *mixing chamber 3* [57]. Depending on the injection coefficient, the flow rate of the liquid in the *mixing chamber 3* may be several times greater than in the *working nozzle 1* [58]. Flows of working and injected fluids media enter the *mixing chamber 3*, where the velocity profile is equalized, accompanied by an increase in pressure [58]. From the *mixing chamber 3*, the flow enters the *diffuser 4*, where there is a further increase in pressure [57]. The pressure of the mixed flow at the outlet of the *diffuser 4* is higher than the pressure of the injected flow entering the *receiving chamber 2* [57]. Increasing the pressure of the injected flow without the direct cost of mechanical energy is the main quality of jet devices [58].

The flow of the mixed fluid, leaving the *diffuser 4*, rises at high speed along the annular gap between the apparatus and the walls of the well drawing the rock-breaking balls at the bottom [58]. The balls rise to the level of the *working nozzle 1* and not much higher where they stop due to a sharp drop in the speed of the ascending jet of fluid due to an increase in the annular section and a decrease in the amount of fluid due to partial recycling [57]. Next, the rock-breaking balls together with the flow of the injected fluid enter the *mixing chamber 3*, where they are accelerated to a certain speed [57]. Coming out of the *diffuser 4* with greater speed, the balls hit the face, destroying the rock, being carried away by the upward flow of fluid rises up [57].

The products of rock destruction are partially recycled with the flow of the injected fluid, being crushed and easily removed from the well by the upward flow of the washing liquid.

The well borehole during the course of the impact drill has a concave curvilinear shape, because the balls, flying out of the apparatus in different directions, meet with the bottom surface at different angles, which leads to uneven destruction of the bottom rock [55]. In addition, the balls colliding with each other, are ricocheting [55].

1.2. The trend of ball impact drill apparatus development

In 1955 American oil company CarterOilCo poses an interesting challenge for researchers «On the creation and development of a new method of drilling, which is fundamentally different from the existing ones, namely, rotary and turbine» [34]. For several years, a group of 25 American scientists conducted extensive research in the field of rock destruction by fast-moving balls. The results of this study is the creation of a device capable of accelerating and recycling rock cutting elements (see Figure 2). A device that fully meets the stated requirements was a water jet pump. Detailed calculations and results of these studies are fully covered in the work of I. E. Esquel, FG Daly, L.U. Ledgerwood.

As a result of laboratory studies, it was found that the highest mechanical rate of penetration can be achieved, all other things being equal, in the case of using balls of the maximum possible diameter that are not wedged in the mixing chamber [40].

In 1961, one of the participants in the research of L.U. Ledgerwood [40] noted: «Pulsed ball drilling has no practical use. At the reached level, it is possible to destroy rocks with its help, but from an economic point of view this process is much less profitable than conventional rotary drilling».

Despite the above conclusions, from 1963 in the South Kazakhstan Geological Administration began further studies of this method of drilling, called impact drill (at the same time, the rock-destroying tool (PRI) was called a « impact drill apparatus») [26]. And due to the fact that for the effective operation of the balloon, there is no need for its rotation, it was used for the artificial curvature of geological exploration wells. Analyzing the results of American scientists, research leader A. B. Uvakov pointed to their not entirely objective conclusions [58]. The Americans during the experiments focused on determining the physical nature of the work of the ball-jet apparatuses, while at the same time unreasonably little attention was paid to the problems of rock destruction. As a result, they made a clear mistake, trying to drill various rocks of the fortress at the same speed of balls' departure from the apparatus, equal to 22.8 m / s [35].

The authors found that when a rock is destroyed, there is an optimal speed of

the impact of the balls with the face (40 – 180 m/s), which depends on the elastic properties of the material of the balls and the rock, the diameter and density of the balls, the dynamic hardness of the rock. The speed of ball-drilling in the fatigue failure mode decreases with an increase in the hardness of rocks, and increases in the optimal failure mode. This dependence is very important, since emphasizes the feasibility of applying the method for drilling strong rocks. In the optimal mode, the wear of the balls and the ball jet machine will be minimal due to the exclusion of the balls rebound from the bottom. At the same time, the penetration rate can reach up to 20 m/h in rocks VII – XI of rock drill ability categories [34].

Industrial tests showed a 20% increase in the mechanical drilling rate and a 43% penetration rate compared to serial chisels. Drilling was carried out in the range of 500–1100 m in rocks of medium strength [58].

American researchers used a “gravity injection injection” drill to carry out field tests (Fig. 2) [33].

The design of the projectile was provided for the use of special *paws* 7, in contact with the bottom of the well to maintain the optimal distance between the bit and the bottom, without destroying it. An important feature of this projectile is the formation of a «*cloud of reserve balls*» 8 at the level of *nozzle* 2 [33].

Zaurbekov S.A. in his work [26] indicates the low flow of balls in the mixing chamber (not more than 140 w/s), carried out by a jet apparatus with a nozzle and a cylindrical mixing chamber with their sequential axial location. In this regard, a projectile with a *nozzle* 6 and a *mixing chamber* of 9 annular shape was proposed, while the central part of the borehole bottom is destroyed by means of a *support* 8, ending with carbide *teeth* 11 (Fig. 3). This design ensures the maintenance of the optimal distance between the bit and the bottom hole during drilling, using the *delay device* 8 allows you to remove restrictions on the maximum flow rate of flushing fluid, as well as to direct the balls into the inlets [33].

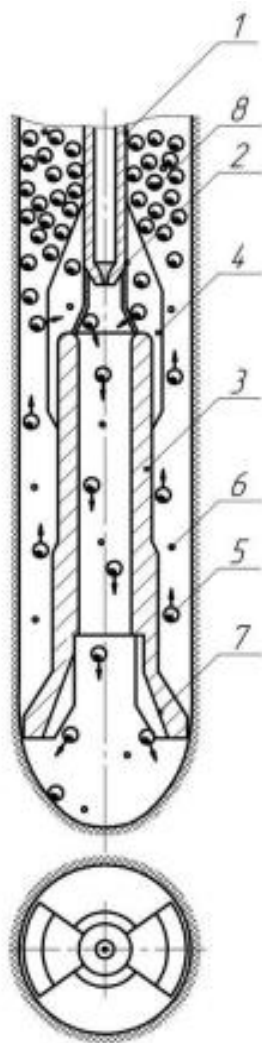


Figure 2 - Gravitational-ejector drill:

1 - drill pipe string; 2 - nozzle; 3 - mixing chamber; 4 - ribs; 5 - rock-breaking balls; 6 - sludge; 7 - «paws»; 8 - a cloud of reserve balls

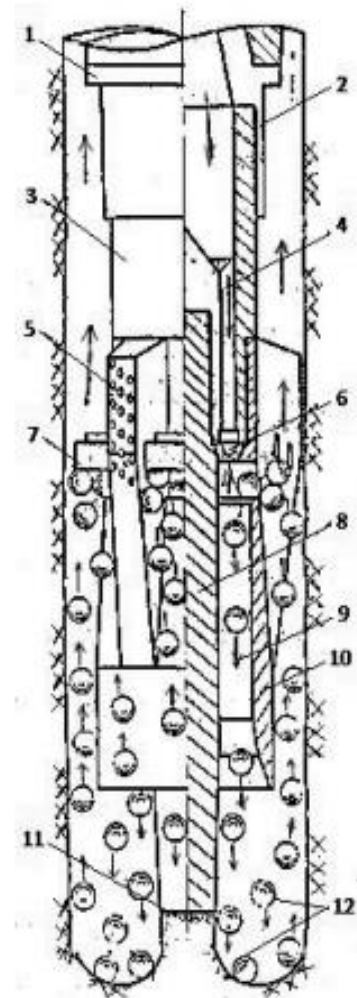


Figure 3 - Impact drill apparatus :

1 - calibrator; 2 - sub; 3 - connecting head; 4 - liquid supply channels; 5 - calibrating-centering ribs; 6 - annular nozzle; 7 - delay device; 8 - projectile support; 9 - annular mixing chamber; 10 - the body of the projectile; 11 - carbide teeth; 12 - balls

It should be noted that a number of authors consider the construction of an SEBP, which is based on an inkjet apparatus with a nozzle and a cylindrical mixing chamber with their sequential axial location, the peripheral part effective (Fig. 4). However, this design has drawbacks associated with the combined destruction of the borehole bottom: wear of the mechanical equipment of the projectile, the need for rotation and axial load, the complexity of managing the drilling process [57].

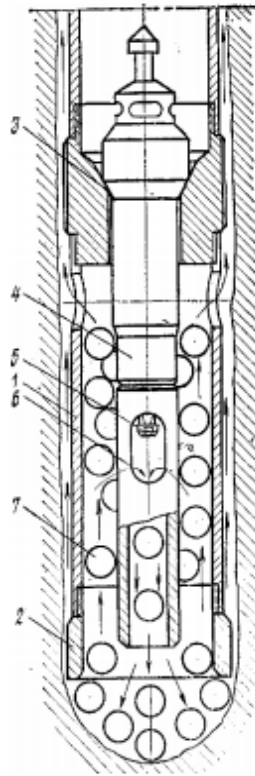


Figure 4 - Impact drill rig with blade type weapons: 1 - case; 2 - rock-breaking support shoe; 3 - nest; 4 - jet apparatus; 5 - nozzle; 6 - mixing chamber with windows; 7 - balls.

Figure 5 shows a diagram of a model developed in the United States, which allows the construction of wells with coring [50].

The principle of operation of this projectile:

After lowering the drill pipe to the bottom of the well, it is necessary to fill in a portion of rock cutting balls, after which a *removable cartridge 12* is dropped through the drill pipe string, which blocks the channel of the *core receiver 3* with penetration. When the flushing fluid is supplied, it passes through the *channel 10*, the *nozzle 6* and enters the *mixing chamber 8*, where a vacuum is created in the zone of the suction windows, due to which rock-breaking balls circulate in the wellbore zone [50].

Passing through the *mixing chamber 8*, the balls are accelerated, subsequently colliding with the rock destroying it. The lower part of the *mixing chamber 8* has a conical shape due to which direct contact of the balls with the *ribbed nozzle 2*, as well as with the *core-receiver tube 3*, is excluded. In the area above the *suction windows 7*, the process of braking of balls occurs, as well as their accumulation [50].

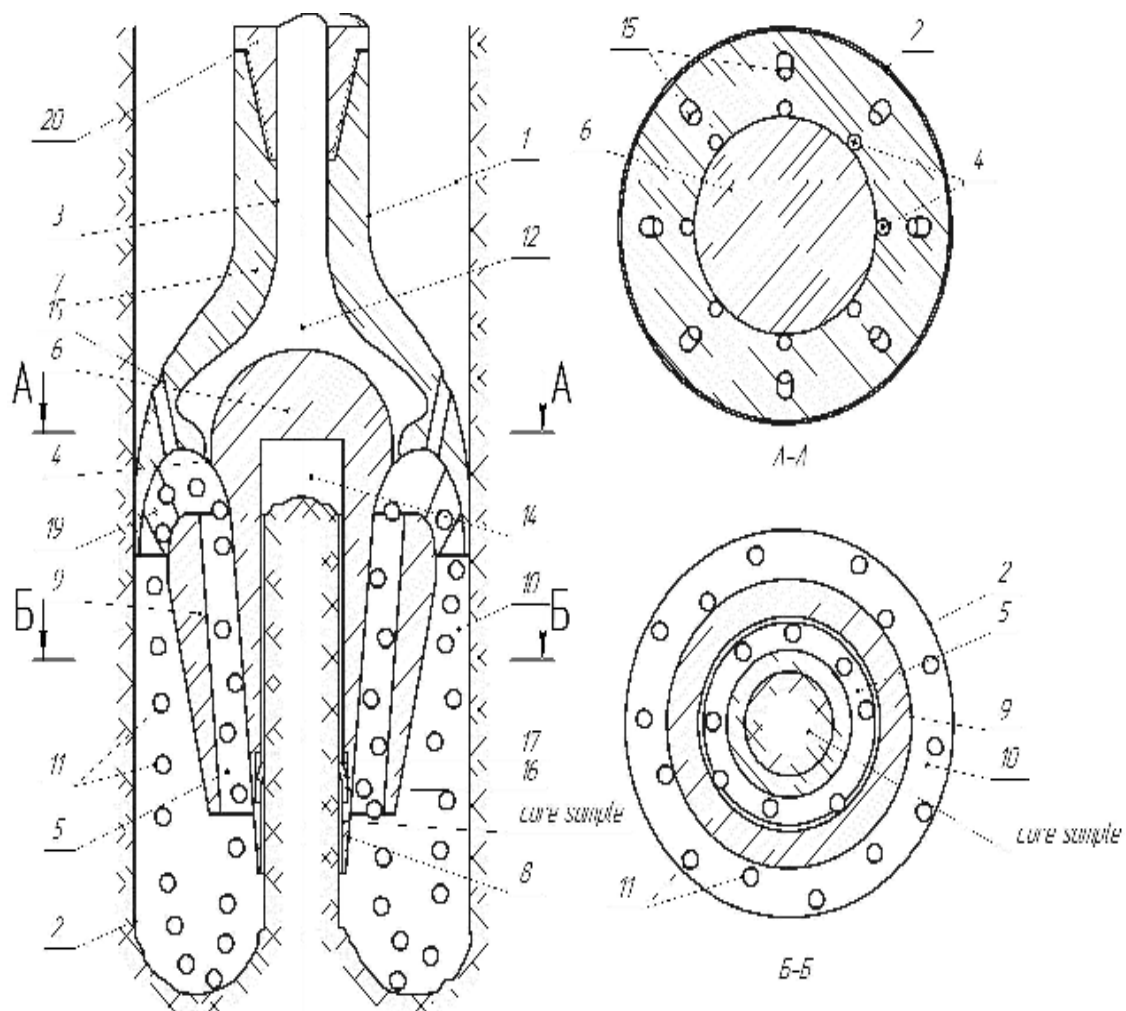


Figure 5 - Scheme of the coring projectile

1 - case; 2 - ribbed nozzle; 3 - core tube; 4 - crown; 5 - core; 6 - nozzle; 7 - suction windows; 8 - mixing chamber; 9 - expanding cone; 10 - channel; 11 - removable cassette slot; 12 - removable cassette with core.

This contributes to a more uniform supply of rock destructive balls in the *mixing chamber 8*, and also protects the *ribbed nozzle 2* from rapid wear. After filling with the core, the *removable pipe 12* is removed with the help of the overshot to the surface, then a new removable pipe is dropped through the drill pipe string, which is fixed in the slot of the *removable cartridge 11* and the drilling process resumes until the newly launched *removable pipe 12* is filled. In order to extract the waste rock-cutting balls, reverse circulation is used, in which the balls are transferred through the *core receiving tube 3* with flushing fluid to the surface. When replacing the *crown 4* on the bit this projectile is used for drilling without coring [50].

Figure 6 shows a diagram of the basic design of the drill, adopted by A.V. Kovalev for experimental research.

The effectiveness of the ball-drilling drilling is determined by many factors, so the change in drilling conditions (for example, the transition from drilling one rock to another) must be accompanied by a corresponding adjustment of the work of the projectile without tripping. Therefore, it is necessary to develop tools for automating and controlling the well dredging process [34].

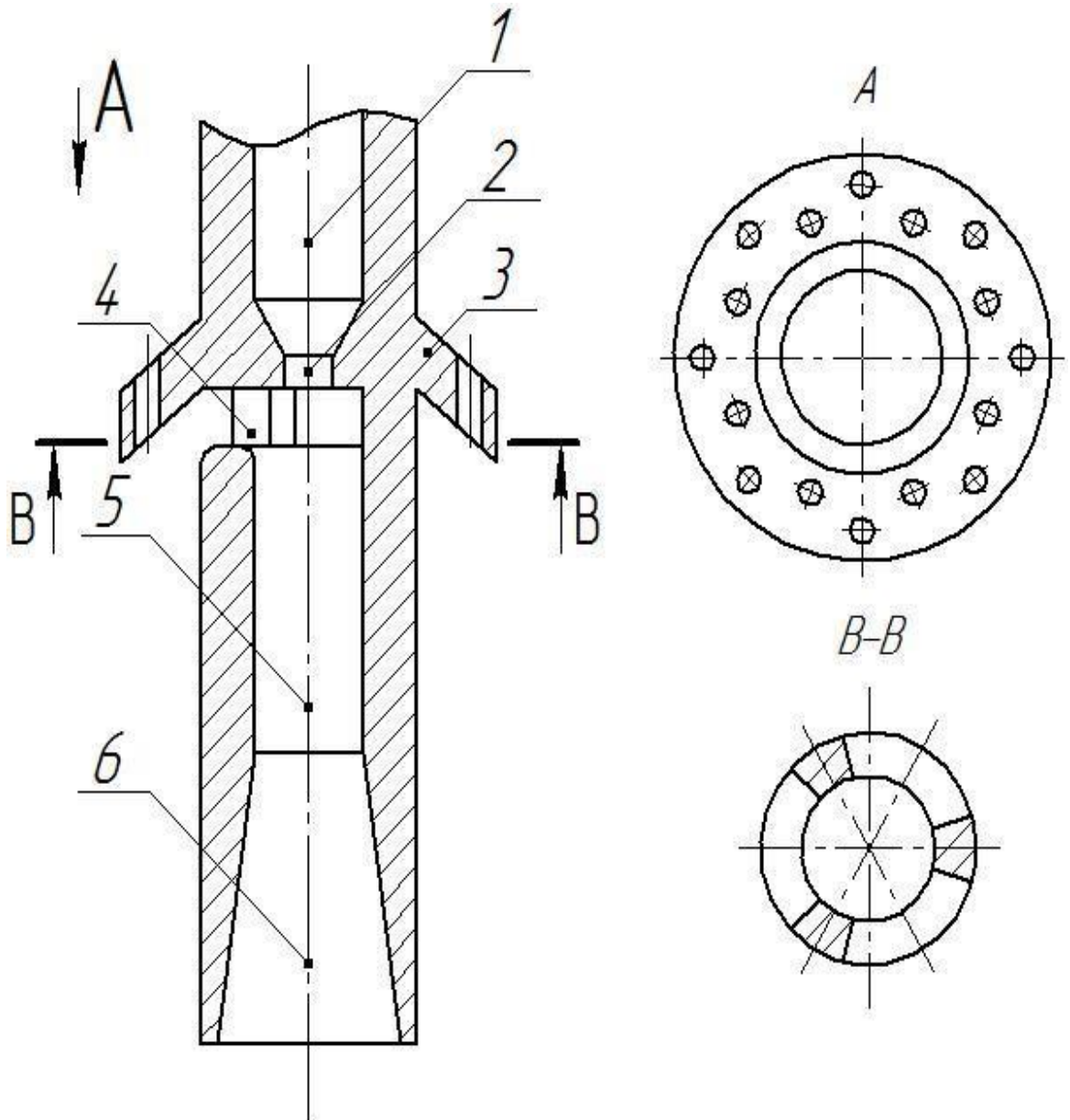


Figure 6 - Impact drill:

1 - chamber for supplying working fluid; 2 - nozzle; 3 - holding device; 4 - edges between technological windows; 5 - mixing chamber; 6 - diffuser

In the works [22, 26] the information on the field tests of the ball-drilling method of drilling wells is presented. In this case, two methods of delivering balls to the bottom of a well were tested.

The first is the delivery of balls in paper bags that were dropped into the well. After turning on the supply of drilling mud and the start of the drilling process, these packages are softened, balls are poured out of them, and the packages are brought to the surface [22].

The second method consists in lowering a special container into the well, which is a column pipe, narrowed at the bottom and hammered with clay. This container goes down on the drill pipe, after the pump is turned on, the balls press clay under pressure of fluid and move to the bottom of the well, and the container is pulled to the surface. To remove the balls from the bottom of the well, ball traps of various designs are used, which are lowered to the bottom after the bit is removed from the well. The high labor intensity, low reliability and significant time losses for tripping during these operations require the development of a device that allows the drill to descend with the balls to the bottom of the well and lift them from the bottom of the well together with the projectile after the end of the voyage without additional descaler [34].

Since 2012, studies of the ball-jet method have been carried out at the well drilling department of the Tomsk Polytechnic University. It should be noted that the development of a impact drill for drilling in a production environment was carried out on the basis of the results of experimental studies [33]. It was necessary to ensure its sufficient strength and rigidity, as well as the reliability of threaded connections [33].

The drilling process is accompanied by constant wear of the parts of the ball-projectile, which interact with rock-breaking balls, sludge and flushing fluid. In this case, intensive wear of the primary nozzle is possible due to the abrasive effect of the drilling mud; wear of technological windows and mixing chamber - due to interaction with balls and sludge, cavitation erosion; output end of the diffuser - due to the blows of balls bounced off the bottom of a well. In this regard, it was necessary to develop measures to reduce wear, as well as to provide for the possibility of promptly

changing the main elements of the projectile when it is lifted from the well [8].

The design developed is shown in Figure 7. It consists of five interchangeable parts.

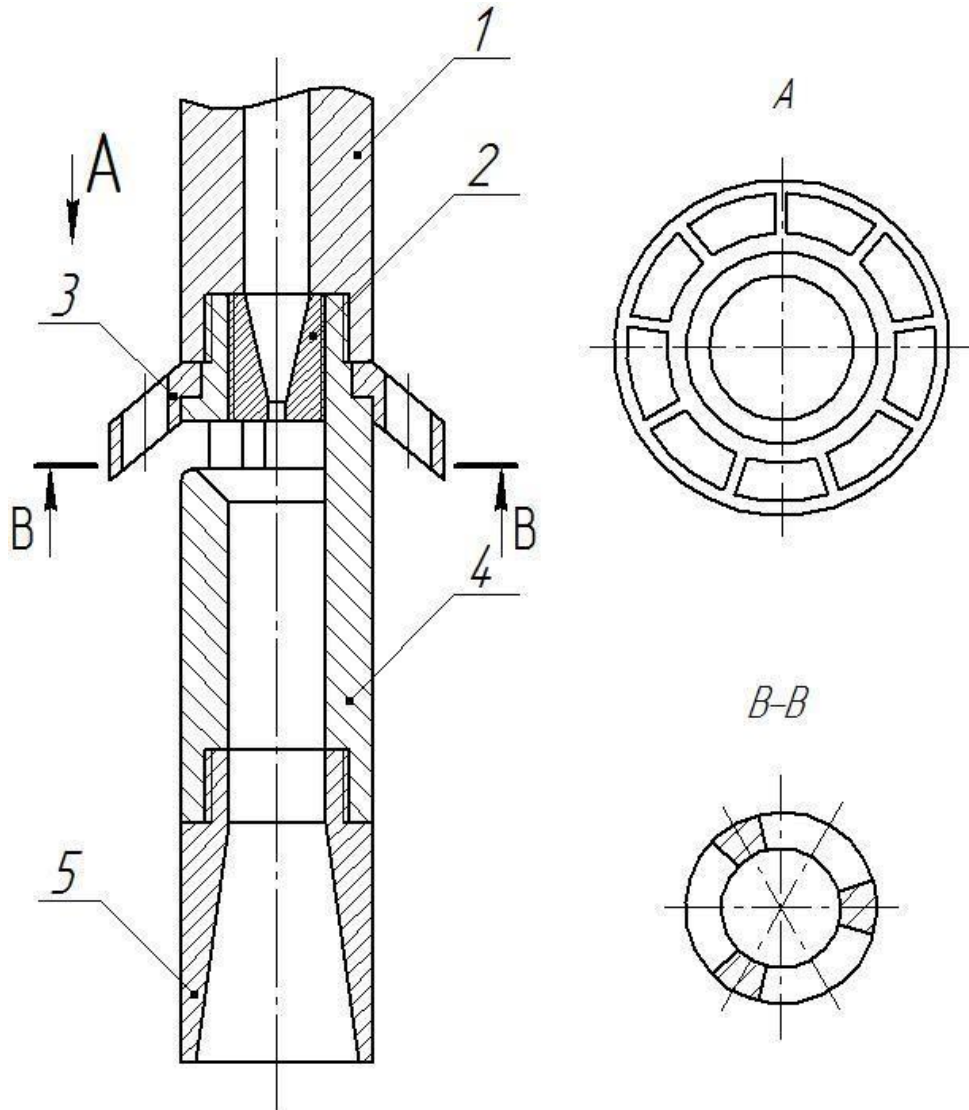


Figure 7 - Impact drill for drilling in a production environment: 1 – sub; 2 – nozzle; 3 - delay device; 4 - suction chamber; 5 - diffuser

In order to drill a borehole with an ejector-boring drill of the structure under study, the borehole must be drilled using a ratchet method. This method for drilling with projectiles with recommended geometrical parameters ratios allows maintaining the diameter and the required distance between the bit and the bottom. At the same time, the most important parameter of the drilling mode is the periodicity of the pacing, the value of which should not be overestimated [2].

The layout of the bottom of the drill string for impact drill with the pacing of the projectiles is shown in Figure 8.

The disadvantages of this technological scheme is the complexity of the control of the process of impact drill at great depths [34].

Based on the results of experimental studies presented in the work of A.V. Kovalev, it can be concluded that the control of the process of dredging a well during the course of impact drill can be accomplished with the help of a ball flow sensor in the mixing chamber installed in the body of the drilling rig [34].

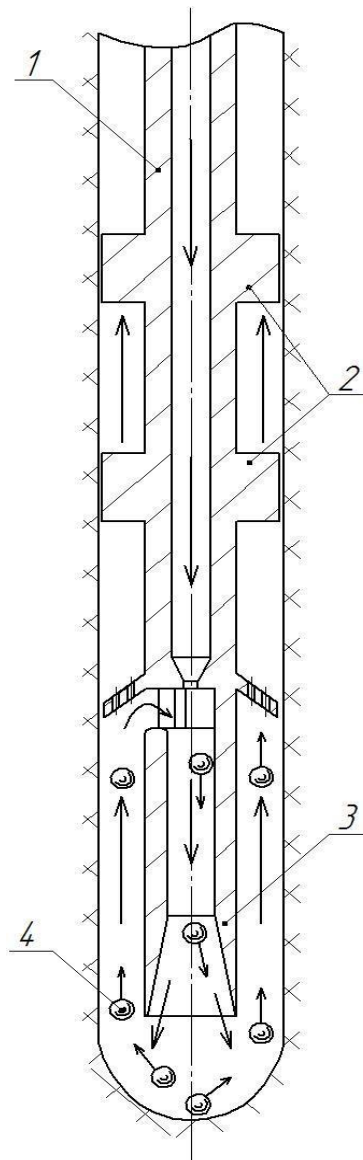


Figure 8 - Layout of the bottom of the drill string for ballast drilling with the drilling of the drill: 1 - drill pipe string; 2 - centralizers; 3 - drilling rig; 4 - rock-destroying balls.

It is known that in the process of drilling wear rock-cutting balls. The problem of wear of balls can be solved by using balls made of carbide materials with high wear resistance. However, the high cost and scarcity of carbide balls limits their applicability. An important point in reducing the wear of rock-breaking elements is the optimization of the movement of the balls in the bottom-hole part of the well [3]. However, the process of wear and tear of the balls during drilling is inevitable, so their periodic replacement (or recharge) is necessary [33].

It should be noted that the high labor intensity, low reliability and significant loss of time for tripping operations when performing operations on replacing worn balls with new ones require the development of technical tools to increase the trip speed of drilling. Thus, it seems possible to develop a device capable, along with replacing worn balls with new ones, to lower balls to the bottom and lift them from the bottom of the well along with the drilling projectile. Based on the purpose of the proposed device, let's call it catching-feeding [7].

The developed layout layout of the bottom of the drill string with a catching-feeding device is shown in Figure 9 [34].

The principle of operation of the UPU is to perform the following sequence of technological operations [34]:

1. the descent of the presented layout of the bottom of the drill string to the bottom of the well (with the delay device is in the transport position);
2. impact on the downhole chopper to feed the first portion of balls to the face;
3. the impact on the delay device (memory), transfer it to the working position;
4. the drilling process until signs of excessive wear of the balls;
5. impact on memory, transfer it to the transport position;
6. turning on the mud pump, lifting the balls to the downhole ball catcher, trapping them;

7. the impact on the downhole chopper, leading to the precipitation of the second portion on the bottom;
8. impact on memory, transfer it to the working position;
9. start the pump, the resumption of the drilling process.

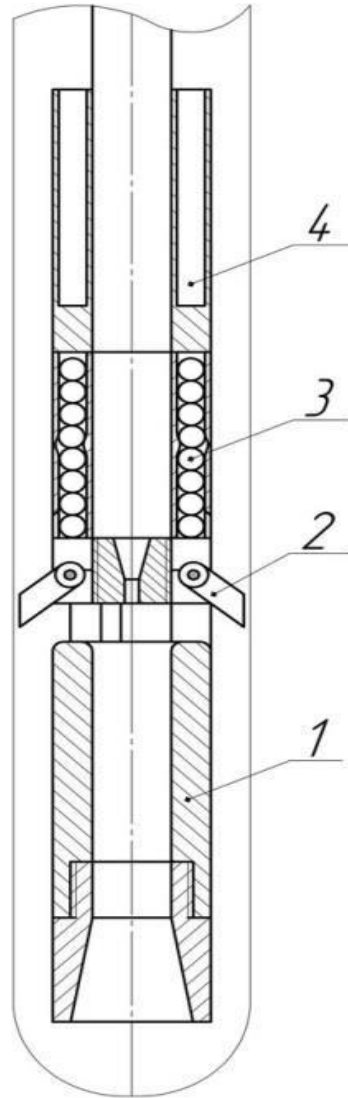


Figure 9 - Layout layout of the bottom of the drill string with a catching-feeding device: 1 - drilling rig; 2 - delay device; 3 - downhole chopper; 4 - downhole ball catcher

So, to reduce the number of STR, save time and money spent on drilling wells, the layout of the bottom of the drill with an electromagnetic system for collecting waste balls was proposed (Figure 10). This design allows not to lift the device from the well to collect a worn portion of balls [38].

To replace the worn balls from the wellhead with the help of the overshot on the pulley rope, the layout of the *check valve* 7 is lowered. The shut-off *valve* 7 sits in

the landing seat *curtain 3 technological window*. An excessive pressure is created, which leads to the deformation of the *elastic elements 4 and 8*, the opening of the *curtain 3 of the process window* and the folding of the *delay device 10*. The *elastic element 4* is necessary to compensate for the difference in travel, folding the stopping device and fully opening the intake window [38].

Thus, the process of opening the process windows and the transfer of the *delay device 10* to the transport state takes place in parallel. When this *shut-off valve 7* sits in the shut-off seat and partially closes the flow of the drilling stream, increasing its pressure.

Figure 10 shows the design of the layout of the working part of the drill string with lowered *shut-off valve 7*.

The process of circulation of the drilling fluid continues. Turn on the *electromagnet 1* operating in pulsed mode. Mixed flow carries rock-breaking balls into the annular gap between the bit and the walls of the well lifting them. As the balls rise in the annulus, the speed of the mixed flow decreases, the *electromagnet 1* acting on the rock-breaking balls changes their trajectory, pulling the drill pipe into the drill string through the intake ports. Next, the balls are sent to the *perforated receiving basket 2* where they accumulate [38].

With the help of overshot, we extract the layout of the check valve with an electromagnet and a filled receiving basket from the drill pipe string. We carry out feeding with a new portion of balls and resume the drilling process [38].

The balls, which could not be removed, circulate in the near-wellbore zone and then wear out, after which they are carried with cuttings at the wellhead [38].

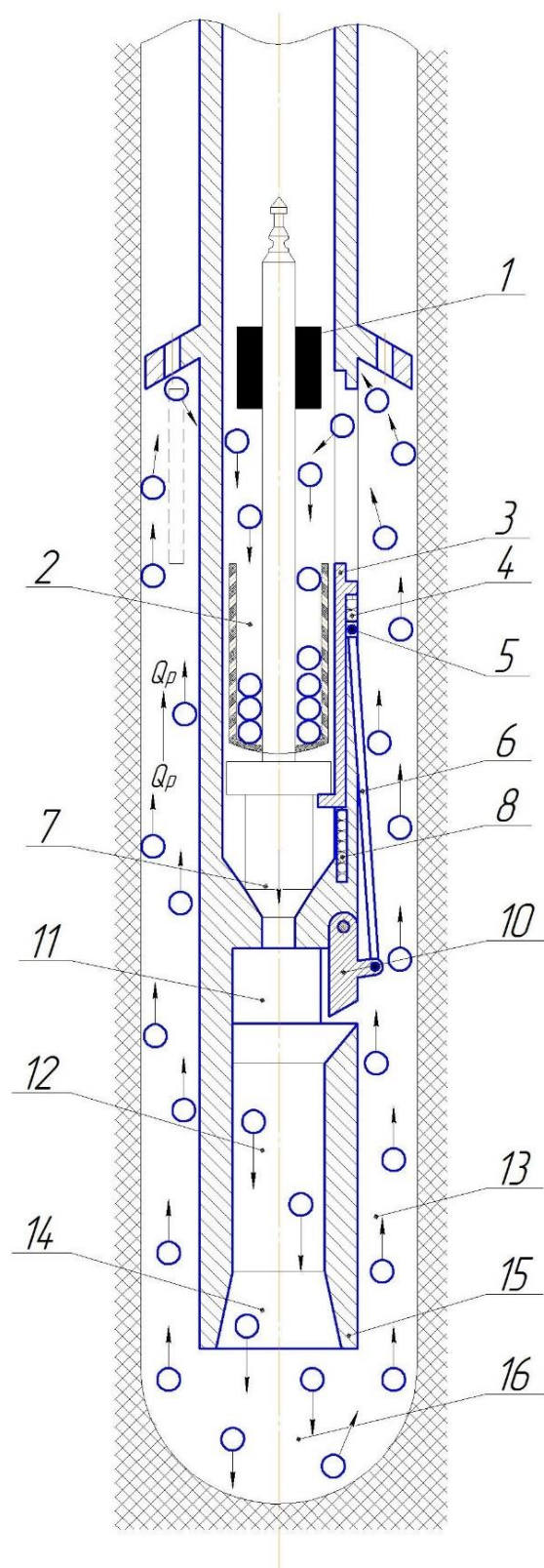


Figure 10 - Layout of the layout of the working part of the drill string with lowered shut-off valve.

- 1 - electromagnet;
- 2 - perforated receiving basket;
- 3 - technological window curtain;
- 5 - thrust;
- 4 and 8 - elastic elements;
- 6 - thrust;
- 7 - shut-off valve;
- 10 - folding retarding device;
- 11 - vacuum zone;
- 12 - mixing chamber;
- 13 - annulus;
- 14 - the diffuser;
- 15 - housing;
- 16 - the area between the chisel and the bottom;

Q_p – the flow rate of flushing fluid supplied to the drilling projectile.

In the process of analysis and research of the structure presented in Figure 10, the following advantages were highlighted:

- an increase in cruise speed, due to the reduction of launching operations;
- an increase of technological and economic efficiency.

The disadvantages include:

- the complexity of manufacturing the structure;
- the presence of moving parts;
- the inability to replace parts of the bottom hole assembly;

Thus, there is a need to optimize and simplify the system of collecting waste balls.

1.3. Optimization of operation modes of the impact drill apparatus by controlling the speed of the working fluid flow.

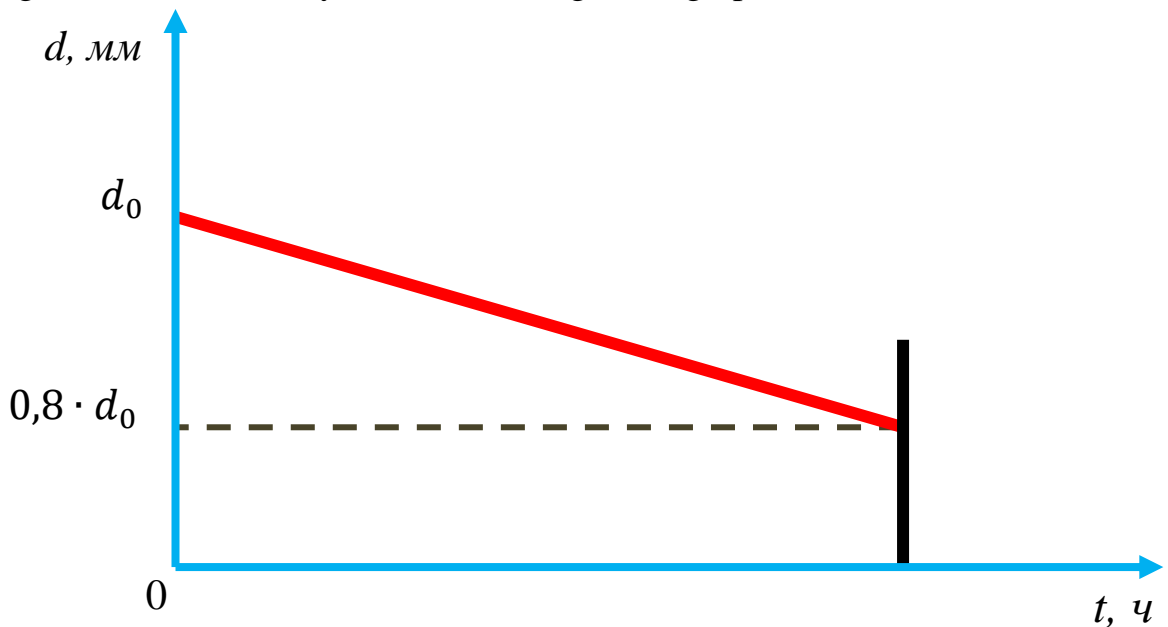
It is known that the kinetic energy transmitted from the ball to the rock affects the efficiency of drilling [38].

$$E_0 = \frac{m_0 \cdot V^2}{2}, \quad (1)$$

where m – is the mass of the ball; V – the speed of the drilling stream.

The greater the kinetic energy of the ball, the greater the force of impact, therefore, the process of wear rock-breaking balls will occur faster.

Conventionally, suppose that during the drilling process, the diameter of rock-cutting balls varies linearly with the drilling time (graph 1).



Graph 1 - The dependence of the diameter of the ball from the

Suppose that during the drilling process the ball diameter has changed by 20%. Determine the diameter of the worn ball by the formula 2:

$$d = 0,8 \cdot d_0, \quad (2)$$

where d – is the diameter of the worn rock cutting ball; d_0 – is the initial diameter of the ball.

Reducing the diameter of the ball entails a decrease in its mass. In order to determine the mass of the ball, we use the formula 3:

$$m = \rho \cdot V, \quad (3)$$

where ρ – is the density of the material of the ball; V – is the volume of the ball.

The volume of the rock-breaking ball is calculated according to the formula 4:

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3, \quad (4)$$

where R – is the radius of the ball.

To determine the radius of the ball, we use the formula 5:

$$R = \frac{d}{2}. \quad (5)$$

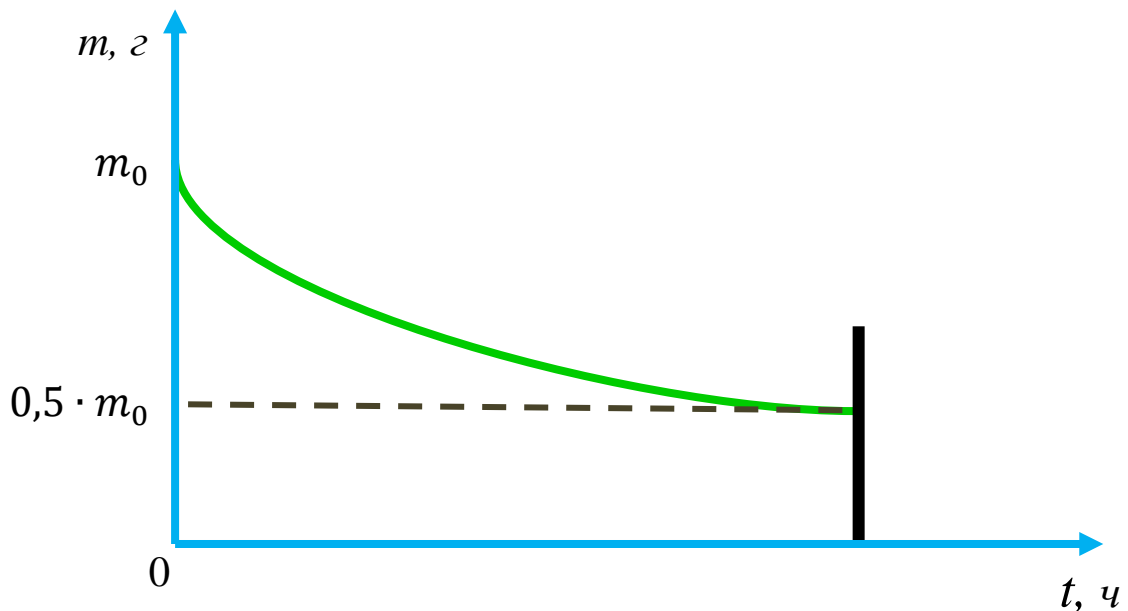
Substituting (4) and (5) we get:

$$m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{d^3}{8} \cdot \rho. \quad (6)$$

$$m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{0,8^3 \cdot d_0}{8} \cdot \rho = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \frac{0,512 \cdot d_0}{8} \cdot \rho. \quad (7)$$

From formula (7), we can conclude that with a decrease in the diameter of the ball by 20%, its mass decreases by half. The graph of the change in the mass of the ball conditionally has a cubic dependence on the drilling time (graph 2).

With a decrease in the mass of rock-destroying balls, their kinetic energy of the ball changes.



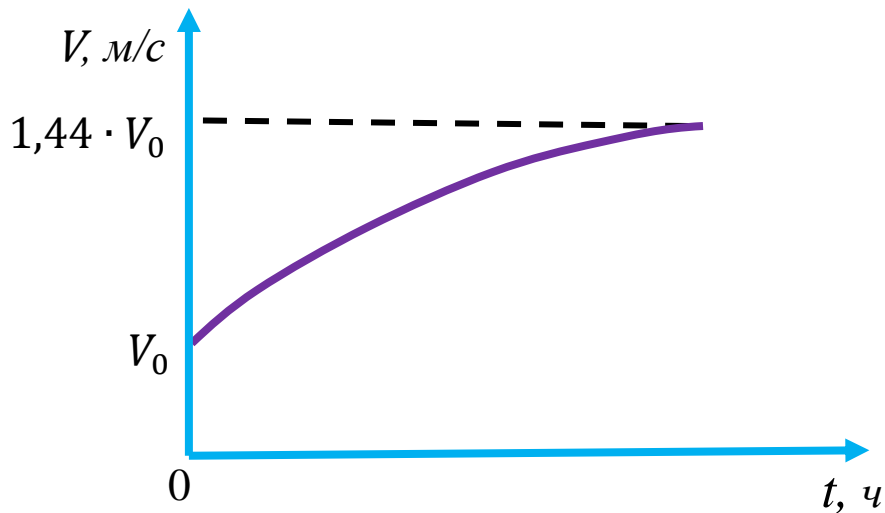
Graph 2 - Dependence of the mass of the ball on the drilling

To determine the kinetic energy of a worn ball, we substitute (7) into formula (1) and obtain:

$$E = \frac{0,512 \cdot m_0 \cdot V^2}{2}. \quad (8)$$

From the formula (8) it can be seen that with a decrease in the mass of the ball by half, its kinetic energy decreases by half. Consequently, the destruction of rock occurs slowly and inefficiently, the rate of penetration decreases.

In order to maintain a constant penetration rate, it is necessary to increase the speed of the working fluid flow as the traveling portion of the rock-breaking balls wear (graph 3).



Graph 3 - Dependence of the flow velocity on the drilling time

The initial kinetic energy of the ball is:

$$E_0 = \frac{m_0 \cdot V_0^2}{2}, \quad (9)$$

where V_0 – the initial velocity of the drilling stream.

The kinetic energy of a worn ball is 20% equal to:

$$E = 0,512 \cdot E_0. \quad (10)$$

Make up the dependency:

$$\frac{m_0 \cdot V_0^2}{2} = \frac{0,512 \cdot m_0 \cdot V^2}{2}, \quad (11)$$

where V – is the increased speed of the drilling stream.

From here:

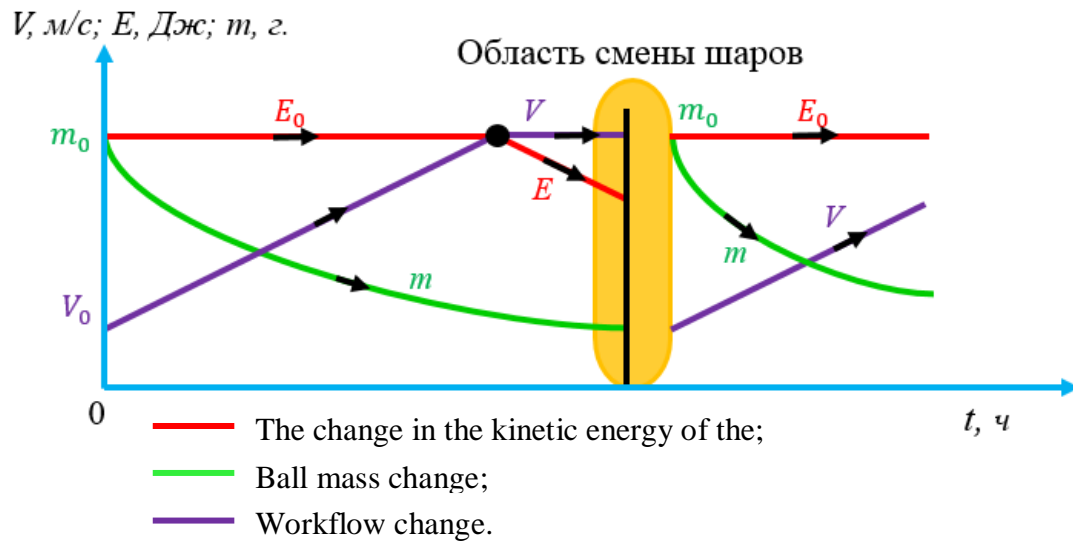
$$V_0^2 = 0,512 \cdot V^2. \quad (12)$$

Find the speed of the increased flow of drilling:

$$V = \frac{1 \cdot V_0}{\sqrt{0,512}} = \frac{1 \cdot V_0}{0,715} = 1,44 \cdot V_0. \quad (13)$$

It can be seen from formula (13) that to compensate for the kinetic energy of a worn-out ball by 20%, it is necessary to increase the speed of the drilling flow by 40%.

Consider the best way to maintain a constant penetration rate (graph 4).



Graph 4 - The best way to maintain a constant penetration rate

When using the optimal method, the wear of rock-breaking balls up to 10% is compensated by increasing the speed of the drilling fluid to 20%. Further drilling continues at a constant flow rate. During the drilling process, further wear of the balls and a decrease in kinetic energy occur.

With the tolerance of wear on the diameter of rock-breaking balls by 20% and compensation of kinetic energy with wear up to 10%, by increasing the flow rate by 20%, the kinetic energy of the ball at the time of replacing the portion of the balls will be 73% of the initial. Further drilling can be considered ineffective, because drilling speed drops significantly.